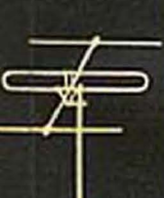
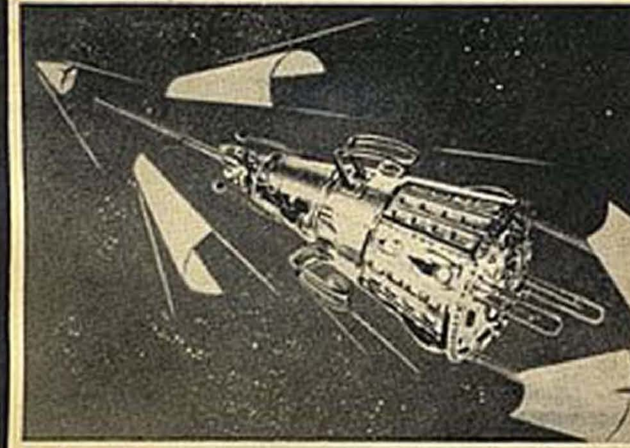
29

DER PRAKTISCHE FUNKAMATEUR







Karl-Heinz Neumann

Funktechnische Satellitenbeobachtung

Der praktische Funkamateur · Band 29

FUNKTECHNISCHE SATELLITEN-BEOBACHTUNG

KARL-HEINZ NEUMANN

FUNKTECHNISCHE SATELLITEN-BEOBACHTUNG



VERLAG SPORT UND TECHNIK · 1962

Redaktionsschluß: 31. 1. 1962

IONOSPHÄRE

UND

FUNKWELLEN

Wohl jeder wird sich an jene denkwürdigen Tage nach dem 4. Oktober 1957 erinnern. Die Sowjetunion hatte den ersten künstlichen Satelliten auf eine Erdumlaufbahn in der Hochatmosphäre gebracht. Zum ersten Mal konnte jeder Funkamateur, der eine Empfangsapparatur für 20 oder 40 MHz hatte, Signale aus dem Weltall empfangen. Besäßen unsere kommerziellen Rundfunkempfänger diese Wellenlänge auf ihrer Skala, so hätten Hunderte von Millionen Menschen jene Funksignale hören können. Für jeden, der die Signale aus dem Kosmos hörte, war es bestimmt ein einmaliges, unvergeßliches Erlebnis. Außerordentlich bedeutungsvoll aber war der wissenschaftliche Informationsgehalt dieser Funkzeichen. Zum ersten Mal hatte man einen Sender in die Hochatmosphäre gebracht, oder — genauer gesagt — in die Ionosphäre, also in das Gebiet, das für den weltweiten Funkverkehr eine wesentliche Voraussetzung bildet. Durch den Empfang dieser Signale und eine entsprechende Auswertung ließen sich eine ganze Reihe neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse über die Ionosphäre und die Hochatmosphäre ableiten.

Machen wir uns zunächst ein Bild von unserer Erdatmosphäre, oder besser gesagt das Bild, das man bis zu den Flügen des ersten Sputniks hatte. Jedem ist bekannt, daß die Dichte der Luft mit zunehmender Höhe geringer wird. Von Bergsteigern wissen wir, daß sie ab etwa 5000 m Höhe zusätzliche Sauerstoffatmung brauchen, da die dünnere Luft dem Körper nicht genügend Sauerstoff zuführen kann.

Das erdbodennahe Gebiet der Atmosphäre nennt man Troposphäre; es reicht von 0 bis etwa 18 km Höhe. Hier spielen sich alle Wettervorgänge ab. Die höchsten Wolken, die feinen Zirruswolken, erreichen mitunter die Grenze dieser Schicht.

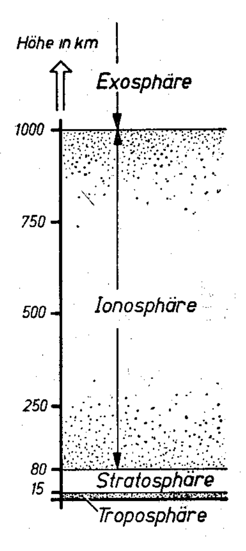
Höhe (km)	Luftdruck (mm Hg)	Teilchen pro cm³
0	760	$2,7 \cdot 10^{19}$
50	0,67	
100	0,00018	$3,7 \cdot 10^{13}$
200	0,00000028	$2,2 \cdot 10^{10}$
300	0,000000001	$7,6 \cdot 10^{8}$
500		$2,6 \cdot 10^{7}$
900		$7,3 \cdot 10^{5}$

Auf die Troposphäre folgt die Stratosphäre, die bis etwa 80 km Höhe reicht. In diesem Gebiet haben wir zwar noch starke Luftbewegungen, die sogenannten Stratosphärenwinde, aber Wolken und thermische Luftbewegung fehlen. Nur an ihrer Untergrenze finden wir noch Wasserdampf. Es treten hier einige physikalisch-chemische Prozesse auf, bei denen die Zusammensetzung der Luft verändert wird. In der Stratosphäre gibt es eine sogenannte Ozonschicht. Ozon ist bekanntlich dreifach gebundener Sauerstoff. Beim Sauerstoff der Troposphäre, den wir einatmen, sind je zwei Atome zu einem Molekül zusammengekettet. Durch Einwirkung energiereicher ultravioletter Strahlung der Sonne bilden sich Moleküle, die aus drei Sauerstoffatomen bestehen. Obgleich nur ein sehr kleiner Bruchteil der vorhandenen Sauerstoffmoleküle die Dreifachbindung eingeht, hat diese Schicht doch eine beträchtliche Wirkung: Sie schützt die Lebewesen auf der Erde vor der Einwirkung der schädlichen ultravioletten Strahlung der Sonne.

An die Stratosphäre schließt die Ionosphäre an. In diesem Gebiet, wo die Luft schon so dünn ist, daß sie mit dem Vakuum im Innern einer Elektronenröhre verglichen werden kann, spielen sich eine Reihe physikalischer Vorgänge ab.

Die Ionosphäre wurde beim Studium der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen entdeckt. Man stellte fest, daß diese Wellen über weite Teile der gekrümmten Erdoberfläche zu empfangen sind. So konnte mit langen elektrischen Wellen über den Nordatlantik hinweg eine Verbindung hergestellt werden. Dieses Ergebnis hatte

Bild 1. Schematische Darstellung des Aufbaus der Lufthülle



man nicht erwartet, denn auch Langwellen stellen eine elektromagnetische Strahlung dar, die sich eigentlich gradlinig ausbreiten sollte. Um zu erklären, daß die Wellen scheinbar der gekrümmten Erdoberfläche folgten, stellten im Jahre 1902 die Engländer Kenelly und Heaviside unabhängig voneinander die Hypothese auf, daß sich in der oberen Atmosphäre eine elektrisch leitende und reflektierende Schicht befinden müsse, die die Strahlung um die Erde herumführe. Der direkte Nachweis dieser Schicht gelang erst im Jahre 1925 durch Untersuchungen der sogenannten Schwunderscheinungen beim Rundfunkempfang. Diese Schwunderscheinungen – auch Fading genannt – erzeugen im Rundfunkgerät ein An- und Abschwellen der Lautstärke ferner Sender. Man kann diese Erscheinungen damit erklären, daß am Empfangsort zwei Wellen gleichzeitig eintreffen. Eine der Wellen hat den direkten Weg Sender–Empfänger genommen, die andere wurde von der Ionosphäre zurückgestrahlt. Beide Wellen können sich nun am Empfangsort verstärken oder schwächen, je nachdem, ob ein „Wellenberg mit einem Wellenberg“ oder ein „Wellenberg mit einem Wellental“ zusammentrifft. Den Engländern Appleton und Barnett gelang

es auf diesem Wege, mit Hilfe von Richtstrahlern die Existenz einer derartigen reflektierenden Schicht direkt nachzuweisen. Sie ist heute als „Heaviside-Schicht" bekannt.

Bei den nachfolgenden genaueren Untersuchungen kam man zu der Feststellung, daß Wellen verschiedener Frequenzen nicht gleichartig zurückgeworfen werden. Das führte zwangsläufig zu der Vorstellung, daß es nicht nur eine reflektierende Schicht gibt, sondern daß verschiedene, übereinander liegende Schichten vorhanden sind, die jeweils Wellen eines bestimmten Frequenzbereichs zurückwerfen. Man nahm an, daß es vier verschiedene Ionosphärenschichten gibt. Die unterste — in etwa 80 km Höhe — nannte man D-Schicht. Darüber liegt die E-Schicht, die in etwa 120 bis 150 km Höhe auftritt; daran schließen sich die F_1-Schicht in etwa 200 km Höhe und die F_2-Schicht in rund 300 km Höhe an. Über die Verhältnisse in noch größeren Höhen konnte man bis zum Start des ersten künstlichen Erdsatelliten noch keinerlei Angaben machen.

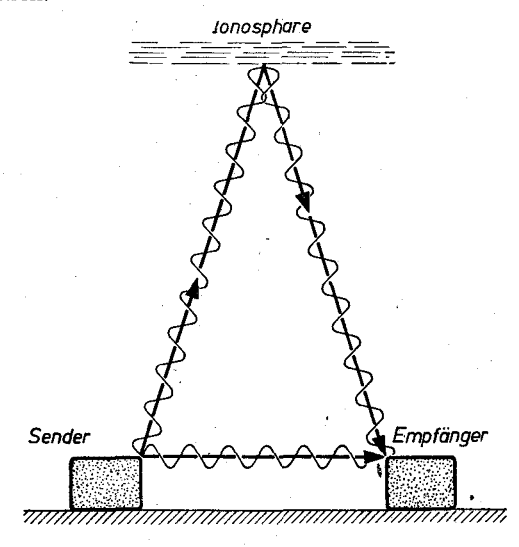


Bild 2. Schematische Darstellung der Ionosphärenlotung

Zur Untersuchung der Ionosphäre war man bis zum Start des ersten Erdsatelliten gezwungen, Wellenimpulse zu benutzen. Dabei wurde das in Bild 2 schematisch dargestellte Prinzip verwendet: Von einem Sender wird ein Impuls einer bestimmten Wellenlänge ausgestrahlt. Daneben ist ein Empfänger aufgestellt. Der Impuls erreicht den Empfänger einmal auf direktem Wege und zum anderen auf dem Umweg über die Ionosphäre.

Die Welle, die von der Ionosphäre reflektiert wird, trifft aber mit einer gewissen „Verspätung" am Empfangsort ein. Aus der Laufzeit dieses Impulses, der sich mit Lichtgeschwindigkeit bewegt, kann man die Höhe der reflektierenden Schicht errechnen. Die Stärke des zurückkommenden Impulses gibt ein Maß für die Reflexionsfähigkeit der betreffenden Schicht. Zur Untersuchung der Ionosphäre setzt man Sender ein, die elektrische Wellen eines breiten Frequenzbereichs in schneller Folge nacheinander ausstrahlen.

Geht man bei derartigen Versuchen mit der Frequenz immer höher, so findet man eine scharfe Frequenzgrenze, von der an keine Reflexion mehr erfolgt. Kürzere Wellen als diese sogenannte Grenzfrequenz durchdringen die ionosphärischen Schichten und entweichen in den Weltenraum. Diese Grenzfrequenz liegt meist bei etwa 20 MHz, das entspricht 15 m Wellenlänge.

Die Ionosphärenschichten stellen aber kein starres Gebilde dar, sondern sind laufenden periodischen und unperiodischen Veränderungen unterlegen. Das Ziel derartiger Untersuchungen der Ionosphäre besteht darin, ihre Veränderungen festzustellen, bestimmte Gesetzmäßigkeiten zu finden und sie erklären zu können. Daß derartige Untersuchungen große praktische Bedeutung haben, ist leicht einzusehen, wenn wir an den Rundfunkempfang und an die Nachrichtenübermittlung auf funktechnischem Wege denken.

Es mag nun die Frage auftauchen, wie in diesen großen Höhen, wo die Luftdichte schon so außerordentlich gering ist, mitunter eine fast vollkommene Reflexion von Funkwellen erfolgen kann. Um das zu verstehen, müssen wir uns erst einmal ein Bild davon machen, welche physikalischen Vorgänge sich in diesem Gebiet der Atmosphäre abspielen.

Durch die Wirkung der kurzwelligen ultravioletten Strahlung der Sonne werden die Atome bzw. Moleküle der Luft ionisiert. Ein Atom besteht aus dem sogenannten Atomkern, der immer eine positive elektrische Ladung hat, und den Elektronen, die diesen Atomkern „umkreisen“. Bei einem nichtionisierten Atom wird die positive Ladung des Atomkerns durch die negativen Ladungsträger, die Elektronen, ausgeglichen. Werden nun ein oder mehrere Elektronen aus dem Atomverband herausgerissen, so sprechen wir davon, daß dieses Atom ionisiert, ein Ion geworden ist. Bei Ionisation entstehen negative elektrische Ladungsträger (die herausgerissenen Elektronen) und positive Ladungsträger (die Atome), denen ein oder mehrere Elektronen fehlen. In der Ionosphäre finden wir also positive und negative elektrische Ladungsträger. Auf die elektromagnetischen Schwingungen wirken praktisch nur die negativen Ladungsträger ein. Das Elektronengas ist demnach für die Reflexion der Rundfunkwellen verantwortlich.

Die Ionisation in der Hochatmosphäre ist kein einmaliger Vorgang, denn auch der umgekehrte Vorgang, also das Einfangen von freien Elektronen durch Ionen, die sogenannte Rekombination, findet ständig statt, während auch dauernd wieder Atome ionisiert werden. Ein gewisser Anteil der Moleküle bzw. Atome ist also stets ionisiert, es existiert immer eine bestimmte Anzahl von freien Elektronen. Dabei mögen in der F_2-Schicht pro Kubikzentimeter ungefähr 3 Millionen Elektronen und in der E-Schicht etwa 100 000 Elektronen pro Kubikzentimeter vorhanden sein. Gemessen an der Gesamtzahl der Atome bzw. Moleküle pro Kubikzentimeter ist dies allerdings ein sehr kleiner Anteil. In der F_2-Schicht sind etwa 0,2 Prozent aller Teilchen ionisiert, in der E-Schicht ist die Zahl der ionisierten Atome oder Moleküle noch bedeutend geringer.

Dringen elektrische Wellen in dieses Elektronengas ein, so bringen sie die Elektronen im Rhythmus der einfallenden Wellen zum Schwingen. Von einer bestimmten Elektronendichte an wird dann schließlich die Welle reflektiert. Jede Elektronendichte hat damit ihre bestimmte Grenzfrequenz. Die Mittelwellen werden bei-

spielsweise im Gebiet der E-Schicht reflektiert; mit zunehmender Elektronendichte im F_1-Gebiet gelangen immer kürzere Wellen zur Reflexion. Die höchsten Frequenzen, also die Grenzfrequenzen für die Ionosphäre überhaupt, werden im Maximum der Ionisation – der sogenannten F_2-Schicht – reflektiert. Es besteht damit ein direkter Zusammenhang zwischen der Grenzfrequenz und der Elektronendichte. Wie schon angedeutet, ist aber die Elektronendichte keine konstante Größe, sie ist dauernden Änderungen unterworfen.

Um ein neutrales Atom zu ionisieren, also ein Elektron aus dem Atomverband herauszureißen, ist Energie notwendig. Diese Energie liefert die Sonne in Form ihrer kurzwelligen Strahlung. Neben dem sichtbaren Licht und der Wärmestrahlung, die die Atmosphäre der Erde durchdringen, wird von der Sonne auch die sogenannte ultraviolette Strahlung ausgesandt. Die Wellenlängen des sichtbaren Lichtes liegen zwischen 4000 und 6000 Å (1 Å = einhundert Millionstel Zentimeter). Die Strahlung mit Wellenlängen unter 3000 Å wird in der Hochatmosphäre praktisch vollständig zur Ionisierung und in tieferen Schichten zur Bildung der Ozonschicht verbraucht.

Um die Veränderungen in der Ionosphäre zu verstehen, betrachten wir als erstes die dauernd von der Sonne ausgehende kurzwellige Strahlung, die konstante ultraviolette Strahlung. Die Strahlungsmenge, die pro Quadratzentimeter auftritt, ändert sich mit der Sonnenhöhe; sie ist um so größer, je größer der Einfallswinkel der Strahlung ist. Durch die Rotation der Erde bedingt, haben wir also mit einer tageszeitlichen Variation zu rechnen. Zweitens ändert sich die Sonnenhöhe und damit der Einfallswinkel der Strahlung noch mit der Jahreszeit, folglich sind weiterhin jahreszeitliche Veränderungen zu erwarten. Die Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen haben diese Annahmen bestätigt. Schließlich wird auch die Elektronendichte in der Ionosphäre über verschiedenen geographischen Breiten unterschiedlich sein.

Während sich im sichtbaren Teil des Lichtes die Intensität der Sonnenstrahlung fast überhaupt nicht verändert, ist die kurzwellige Strahlung beträchtlichen Schwankungen unterworfen. Wir finden einmal einen

Gang mit der Häufigkeit der Sonnenflecke, und bei Sonneneruptionen tritt eine extreme Verstärkung des kurzwelligen Strahlungsanteils auf. Diese Sonneneruptionen zeigen in ihrer Häufigkeit einen den Sonnenflecken parallelen Gang. Sie sind meist kurzzeitige Erscheinungen; selten dauern sie länger als wenige Stunden, aber die Intensität der kurzwelligen Strahlung steigt dabei auf das Millionenfache des normalen Wertes an. Daß derartige Erscheinungen einen starken Einfluß auf den Zustand der Ionosphäre haben müssen, ist verständlich.

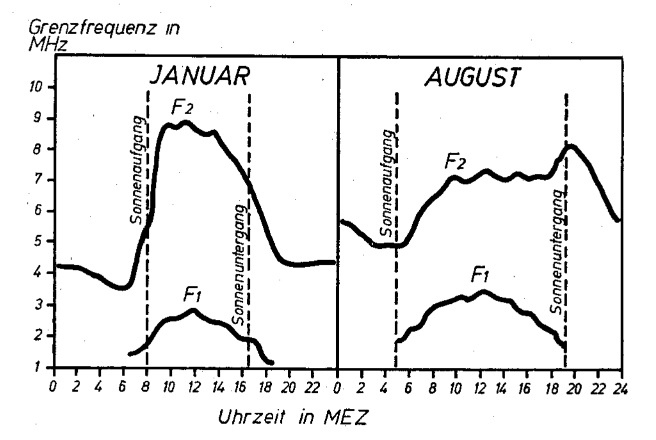


Bild 3. Tageszeitliche und jahreszeitliche Variation der Grenzfrequenz der F_1- und F_2-Schicht

Diese verstärkte Strahlung bei Eruptionen wirkt sich vor allem auf die unterste Schicht der Ionosphäre aus. Diese sogenannte D-Schicht wird bei Eruptionen derart verändert, daß sie die Radiostrahlung im Kurzwellenbereich sehr stark dämpft und mitunter den Kurzwellenverkehr auf der von der Sonne beleuchteten Erdhalbkugel lahmlegt. Man spricht dann von dem sogenannten Mögel-Dellinger-Effekt.

Von der Sonne geht aber nicht nur elektromagnetische Wellenstrahlung aus, sondern es werden auch Wolken elektrisch geladener Teilchen mit hoher Geschwindig-

keit ausgeschleudert. Auch diese sogenannte Partikelstrahlung beeinflußt die Ionosphäre. Man nimmt heute an, daß zumindest zum Teil in der obersten Schicht der Ionosphäre — also in der F_2-Schicht und im Gebiet darüber — durch diese Korpuskularstrahlung der Sonne die Ionisation erfolgt.

Auch bei dieser Teilchenstrahlung unterscheiden wir einen konstanten Anteil und ein verstärktes Auftreten bei Eruptionen. Der konstante Anteil der Partikelstrah-

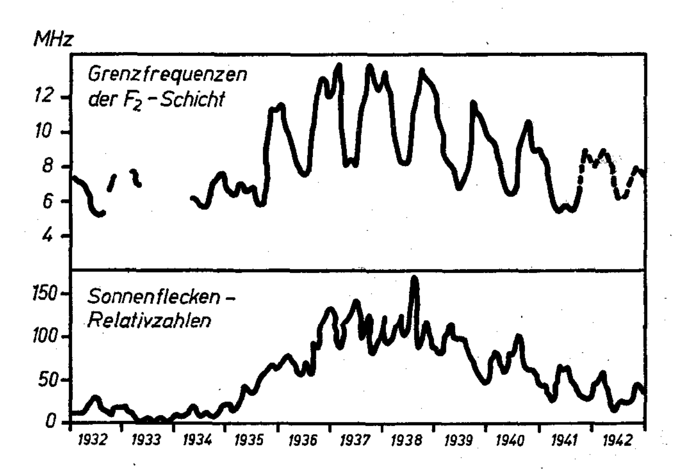


Bild 4. Variation der Grenzfrequenz in ihrem Zusammenhang mit der Sonnenfleckentätigkeit

lung wird also ebenfalls tageszeitliche und jahreszeitliche Variationen in der Ionosphäre hervorrufen. Er zeigt ebenfalls einen gewissen Gang mit der Häufigkeit der Fleckentätigkeit. Zur Zeit des Fleckenmaximums können wir eine stärkere Partikelstrahlung als zur Zeit des Fleckenminimums feststellen. Die elfjährige Periode der Sonnenaktivität wird sich — abgesehen von den starken Veränderungen, die bei Eruptionen auftreten — auch im Zustand der Ionosphäre widerspiegeln.

Nach diesen kurzen Andeutungen über die vielfältigen Einflüsse der Sonne auf die Ionosphäre wird man ein-

sehen, daß sich hier die vielfältigsten physikalischen Prozesse abspielen, die für die Wissenschaft von außerordentlichem Interesse sind.

Viele der eben angedeuteten Zusammenhänge haben noch rein hypothetischen Charakter. Gerade durch die funktechnische Beobachtung von Erdsatelliten ergibt sich die Möglichkeit, die Hypothesen zu überprüfen und zu neuen Erkenntnissen zu kommen.

SATELLITENSENDER UND SATELLITENSIGNALE

Mit Sputnik I war zum ersten Mal ein Sender in die Ionosphäre gebracht worden. Aus unserer heutigen Sicht betrachtet, kann man den ersten Sputnik als Testsatelliten bezeichnen. Es mußten die verschiedensten Instrumente und Apparaturen auf ihre Funktionstüchtigkeit unter Weltraumbedingungen erprobt werden. Dieser erste künstliche Erdsatellit war mit zwei Sendern ausgestattet, die auf den Frequenzen von 20,005 MHz und 40,002 MHz Impulse von 0,3 s Dauer ausstrahlten. Dabei wurden die Impulse der einen Frequenz jeweils in der Pause zwischen den zwei Signalen der anderen Frequenz gesendet. Den Hauptteil der Nutzlast machten die chemischen Stromquellen aus, die es ermöglichten, daß die Satellitensignale drei Wochen lang, in der Zeit vom 4. bis 27. Oktober, ausgestrahlt werden konnten. An dem kugelförmigen Satellitengehäuse von 58 cm Durchmesser waren tangential vier Antennen angebracht, von denen zwei eine Länge von 2,9 m hatten, während die beiden anderen 2,4 m lang waren. Im Innern des vakuumdichten Behälters befand sich eine Stickstoffgasfüllung von etwa 1 at Druck. Dieses Gas wurde durch eine besondere Anlage im Zwangsumlauf gehalten.

Betrachten wir die Frage näher, warum es gerechtfertigt ist, den ersten Sputnik als Testsatelliten zu bezeichnen. Neben zahlreichen raketentechnischen, steuerungstechnischen und bahnmechanischen Problemen war vor allem zu klären und in der Praxis zu erproben, ob eine Sendeanlage unter den Bedingungen des Raumflugs funktionstüchtig bleibt.

Nach dem Start des Trägerraketensystems begann auf den Satelliten und damit auch auf die in ihm installierte Sendeanlage ein immer stärker werdender Beschleunigungsdruck zu wirken. Die Sendeanlage mußte also so stabil konstruiert sein, daß durch die Wir-

kung des Beschleunigungsandrucks keine mechanischen Schäden auftraten. Beim Erreichen der Freiflugbahn vom Brennschlußpunkt an herrschte praktisch bis zum Verglühen des Satelliten Schwerelosigkeit. Sie wirkt sich auf die Arbeit des Senders nicht aus, da sich bei seinem Betrieb keine durch die Gravitation beeinflußten physikalischen Prozesse abspielten.

Das schwierigste Problem aber bestand in der Sicherung der für das Funktionieren der Sendeanlage notwendigen Temperatur. Schon die Flugbahn bedingt starke Temperatureinwirkungen von außen. Bei jedem Umlauf legt der Satellit einen bestimmten Teil seines Weges im Sonnenlicht zurück, während er dann für eine bestimmte Zeit in den Erdschatten taucht. Führt er keine Rotations- und Präzessionsbewegungen aus, so ist eine Hälfte dauernder Bestrahlung ausgesetzt. Die Beschaffenheit der Außenhaut des Satelliten muß daher so gewählt werden, daß die unvermeidlich auftretenden Temperaturunterschiede keine solchen Werte erreichen, die das normale Funktionieren der Sendeanlage stören.

Von noch größerer Bedeutung ist die Abführung der bei dem Betrieb eines Senders entstehenden Wärmeenergien. Die Voraussetzung dafür bietet die Gasfüllung im Inneren des Satelliten. Die künstlich erzeugte Zirkulation dieses Gases ist unbedingt erforderlich, denn infolge der Schwerelosigkeit tritt keine natürliche Zirkulation auf. Das sich erwärmende Gas um eine Senderöhre strömt nicht von selbst ab, da es keinen Gewichtsunterschied zu anders temperiertem Gas in der Umgebung hat.

Eine dritte zusätzliche Erwärmung des Satelliten könnte durch die Reibung in der Atmosphäre entstehen. Für die bei den sowjetischen Satelliten gewählten Bahnen ist die Reibungswärme bedeutungslos, da die Luftdichte auch im erdnächsten Punkt so gering ist, daß keine meßbare Erwärmung auftritt. Erst beim Eindringen in dichtere Schichten — also in Höhen von etwa 100 bis 80 km an — dürfte eine merkliche Erhitzung auftreten. Ist der Satellit erst einmal in so dichte Schichten eingedrungen, so steht sein Verglühen kurz bevor.

Bei lagestabilisierten Satelliten kann man noch eine zusätzliche Kühlung der elektronischen Bauelemente

dadurch erreichen, daß sie wärmeleitend mit der nicht im Sonnenlicht liegenden Wand verbunden werden. Die Oberfläche des Satelliten selbst muß aus einzelnen, gegeneinander wärmeisolierten Segmenten bestehen. Man spricht in diesem Fall von einem sogenannten Strahlungskühlungssystem, da hierbei der stark abgekühlte unbeleuchtete Teil der Oberfläche die beim Betrieb der elektronischen Bauelemente auftretende Wärmemenge abstrahlt.

Die Gasfüllung des Satelliten hat noch eine weitere Aufgabe zu erfüllen. Wäre sie nicht vorhanden, könnten sehr leicht Glimmentladungen und Kurzschlußeffekte auftreten; durch eine entsprechende Gasdichte werden sie verhindert.

In der Hochatmosphäre tritt die primäre kosmische Strahlung auf. Es handelt sich um sehr energiereiche Partikel, die man mit denen bei Kernreaktionen auftretenden Strahlungsarten vergleichen kann. Experimente auf der Erde hatten ergeben, daß durch diese Strahlung bei elektronischen Bauelementen solche Erscheinungen wie Ionisierung, Kernzerfall und Kristallgitterdefekte auftreten können, die ihrerseits eine Änderung der physikalischen und chemischen Eigenschaften sowie der elektrischen Leitfähigkeit hervorrufen würden. Für den Bau der Sendeanlage mußte man also möglichst strahlungstolerante Bauelemente verwenden. Das Experiment Sputnik I mußte zeigen, ob die Einwirkung dieser sogenannten Höhenstrahlung sich auf die Funktionstüchtigkeit der Sendeanlage auswirkt.

Noch ein weiteres funktechnisches Problem galt es experimentell zu untersuchen: Aus theoretischen Überlegungen kam man zu der Überzeugung, daß ein sich schnell durch die Ionosphäre bewegender Körper von einer Wolke ionisierter Teilchen umgeben sein müßte. Wie man leicht einsehen kann, könnte diese Teilchenwolke dämpfend auf die durch sie hindurchgehenden Funksignale wirken. Wie dicht diese Wolke sein wird, und wie stark sie sich auswirkt, mußte erst die Praxis ergeben. Daß die sich in der Ionosphäre bewegenden Satelliten tatsächlich von solchen Ionen und Elektronenwolken umgeben sind, bewiesen die Beobachtungen. Die die Radar-Impulse reflektierende Fläche des ersten Sputnik hatte einen Durchmesser von über einem

Meter, obgleich der Satellitendurchmesser nur 58 cm betrug. Der innere dichte Teil der ihn umgebenden Wolke elektrisch geladener Teilchen reflektierte die Radarimpulse. Noch deutlicher machte sich diese Teilchenwolke beim dritten Sputnik bemerkbar. Bei den Beobachtungen des Normalfrequenzsenders Washington auf 10, 15 und 20 MHz traten bei nächtlichen Durchgängen dieses Satelliten plötzliche Feldstärkeanstiege auf, die durch die Reflexion an der durch diesen Satelliten mitgeführten Wolke geladener Teilchen entstanden waren. In einigen Fällen wurden sogar Dopplerverschiebungen beobachtet, wie sie eine Wolke erzeugen würde, die sich mit rund 8 km/s bewegt.

Das einwandfreie Funktionieren der Sendeanlage des ersten Sputnik bewies, daß es den sowjetischen Wissenschaftlern gelang, alle hierbei auftretenden Probleme technisch zu lösen und einen Sender unter Weltraumbedingungen automatisch arbeiten zu lassen.

Obgleich es bei diesem ersten Satellitenstart darauf ankam, die Funktionstüchtigkeit des Trägerraketensystems, des Satelliten und seines Senders zu erproben, wurde die Bahn so gelegt, daß gleichzeitig eine Reihe von Untersuchungen der Ionosphäre möglich waren. Als erdnächsten Punkt wählte man eine Höhe, in der nach den bisher geltenden theoretischen Vorstellungen die Luftdichte noch nicht so groß ist, daß sie zu stark bremsend auf den Satelliten wirkt und ihn damit schon nach wenigen Umläufen zum Absturz bringt. Man war weiterhin darauf bedacht, daß der erdnächste Punkt nach Möglichkeit unterhalb des Maximums der Elektronendichte der Ionosphäre, also unterhalb der F_2-Schicht liegt. Das tatsächlich erreichte Perigäum der Satellitenbahn lag in 227 km Höhe, entsprach also den für eine Untersuchung der Ionosphäre notwendigen Voraussetzungen.

Als erdfernsten Punkt erreichte der erste Sputnik eine Höhe von 945 km. Bei dieser Bahnlage durchstieß er während jedes Umlaufes zweimal das Maximum der Ionisation. In der Nähe des Perigäums befand er sich also unterhalb der F_2-Schicht, im Apogäum dagegen weit darüber. Auch die Bahnneigung von 65° ist für diese Untersuchungen günstig, da hiermit auch von geographischen Breiten abhängige Unterschiede im Auf-

bau der Ionosphäre erfaßt werden können. Der Satellit überfliegt alle geographischen Breiten vom Südpolarkreis über den Äquator bis zum Nordpolarkreis. Daß breitenabhängige Unterschiede in der Ionosphäre vorhanden sein müssen, wurde schon im ersten Kapitel gezeigt.

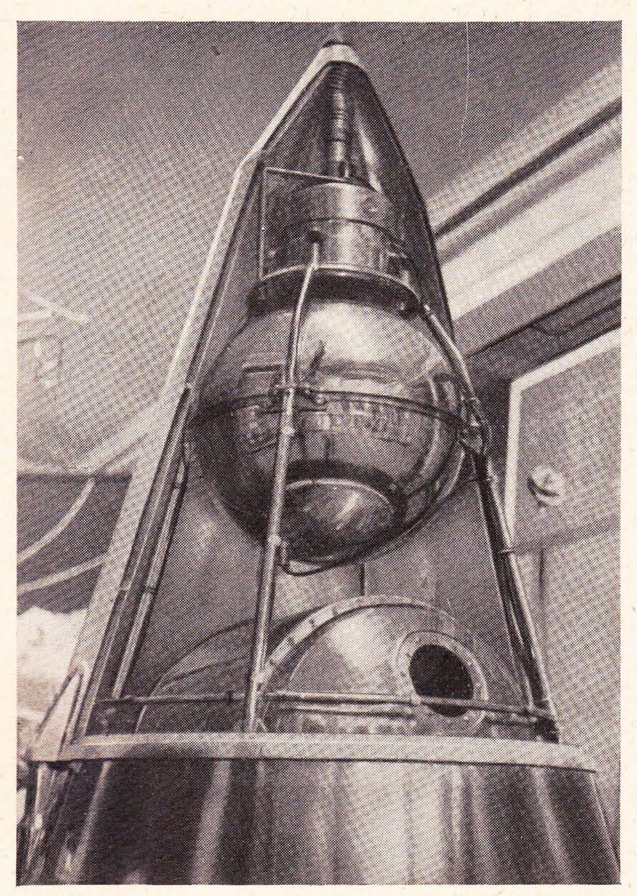


Bild 5. Originalnachbildung des zweiten Sputnik auf der Volkswirtschaftsausstellung in Moskau

Bereits einen Monat später, am 3. November 1957, startete die Sowjetunion den zweiten Sputnik. Mit diesem Satelliten wurde bereits ein umfangreiches wissenschaftliches Meßprogramm in Angriff genommen.

Hauptziel dieses Experiments war die biologisch-medizinische Untersuchung an dem Versuchshund Laika, ferner die Messung der kosmischen Strahlung durch zwei Geigerzähler und die Untersuchung der extrem kurzwelligen Sonnenstrahlung, der Ultraviolett- und Röntgenstrahlung. In einem kugelförmigen Behälter, der in seiner Anlage dem ersten Sputnik entsprach, wurde auch bei diesem Satelliten wieder eine kontinuierlich arbeitende Sendeanlage mitgeführt, die auf den gleichen Frequenzen während des gesamten Erdumlaufs Signale ausstrahlte. Lediglich bei der höheren Frequenz hatte man nicht einzelne Impulse gewählt, sondern ein Peilzeichen ohne Unterbrechungen. Durch das biologische Experiment trat bei diesem Satelliten ein bedeutend größerer Strombedarf auf, so daß trotz einer größeren Zahl von chemischen Batterien das wissenschaftliche Programm auf sieben Tage beschränkt wurde. Am 10. November empfingen die Bodenstationen die Satellitensignale zum letzten Male. Für seine Bahn trifft das gleiche zu wie bei Sputnik I. Schon die grobe Auswertung der empfangenen Satellitensignale vom ersten künstlichen Mond führte zu der Erkenntnis, daß auch im erdfernsten Punkt — also in fast 1000 km Höhe — doch noch eine beträchtliche Elektronendichte vorhanden ist. So entschloß man sich, das Apogäum noch höher zu legen. Es betrug bei Sputnik II etwa 1650 km, das Perigäum lag bei 225 km, die Bahnneigung maß 65°.

Der dritte Sputnik, der am 15. Mai 1958 auf seine Bahn gelangte, stellte hinsichtlich seiner Instrumentierung ein automatisches kosmisches Laboratorium dar. Fast 1,5 t betrug die Nutzmasse dieses Satelliten. Über einige der wissenschaftlichen Ergebnisse dieses Satelliten wird im vorletzten Kapitel noch zu sprechen sein. Hier sei nur die Sendeanlage näher betrachtet. Sputnik III war mit einem Sender „Majak“ (= Bake) ausgestattet, der auf einer Frequenz von 20 MHz Signale ausstrahlte. Das Neuartige bestand darin, daß zum Betrieb dieser Sendeanlage nicht nur chemische Strom-

quellen Verwendung fanden, sondern sogenannte Solarbatterien eingesetzt wurden. Die chemischen Batterien deckten im wesentlichen den Strombedarf für die wissenschaftliche Apparatur, mit der das 10tägige umfangreiche Meßprogramm ausgeführt wurde.

Die Grundelemente der Solarbatterien sind Stoffe mit Halbleitereigenschaften. Bei diesen Mineralien tritt der sogenannte photoelektrische Effekt auf, d. h., bei der Bestrahlung mit Licht setzen sie Elektronen frei, die durch eine bestimmte Schaltung direkt als elektrischer Strom ausgenutzt werden können. Eine Halbleiteranordnung mit diesen Eigenschaften nennt man Photoelement.

Beim dritten Sputnik wurde diese Möglichkeit erstmalig genutzt. Photoelemente mit großen Oberflächen lassen sich technisch nur schwer herstellen. Man ist deshalb gezwungen, einzelne kleine Plättchen zu einer größeren Fläche zusammenzusetzen, die entsprechend geschaltet eine sogenannte Solarbatterie ergeben. Man braucht zur Zeit noch relativ große Flächen, da der Wirkungsgrad der gegenwärtig am meisten verwendeten Photoelemente aus Silizium nur bei etwa 10 Prozent liegt, d. h., nur ein Zehntel der auffallenden Energie der Sonnenstrahlung erscheint als elektrischer Strom wieder.

Obgleich der Betrag von 10 Prozent relativ niedrig erscheint, ist doch die Energieausbeute einer großflächigen Sonnenbatterie recht beträchtlich. Auf einen Quadratmeter der Erdoberfläche treffen rund 1000 Watt Sonnenenergie. Bei senkrechtem Strahlungseinfall wird also eine Solarbatterie von 1 m^2 Fläche eine Leistung von etwa 100 Watt liefern. Der Wirkungsgrad von Silizium-Solarbatterien der heutigen Zeit liegt schon bei 14 Prozent, und es besteht begründete Aussicht, daß in naher Zukunft Solarbatterien mit einem Wirkungsgrad bis zu 20 Prozent zur Verfügung stehen.

Beim dritten Sputnik waren vier kleine Sektionen am vorderen Boden, vier an den Seitenflächen und eine an der hinteren Bodenfläche angebracht. Alle Sektionen der Solarbatterien sind über Dioden parallelgeschaltet. Durch diese Schaltung wurde das Nebenschließen der unbeleuchteten Batterien auf die beleuchteten verhindert. Der normale Betrieb der Batterien wurde durch

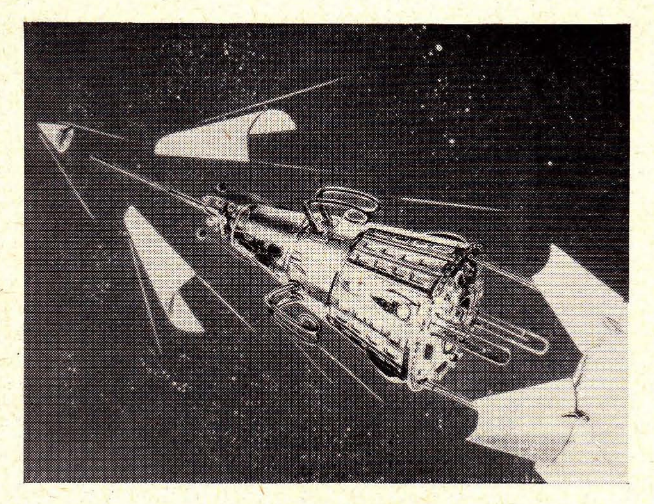


Bild 6. Trennung des dritten Sputnik von der letzten Raketenstufe

diese Schaltung auch von der Lage des Satelliten zur Sonne unabhängig. Die Solarbatterien lieferten den Strom zum Betrieb des Senders Majak, wenn sich der Satellit im sonnenbeleuchteten Teil seiner Bahn befand. Beim Eintauchen in den Erdschatten wurde die Stromversorgung durch eine automatische Anlage auf die chemischen Batterien umgeschaltet. Als diese nach etwa einem Jahr erschöpft waren, übernahmen die Sonnenbatterien allein die Stromversorgung. Eine Pufferbatterie, die während des Fluges im Sonnenlicht aufgeladen wird, war beim dritten Sputnik nicht vorhanden. Wegen der Rotations- und Präzessionsbewegung des Satelliten konnte nicht die volle Leistungsfähigkeit der Sonnenbatterien ausgenutzt werden, da meist nur zwei (manchmal auch nur eine) der Sonnenbatterien von der Sonnenstrahlung getroffen wurden und der Einfallswinkel der Sonnenstrahlung für eine Batterie sich dauernd änderte. Es war deshalb ein relativ hoher Leistungsüberschuß vorhanden.

Daneben wurden bei Sputnik III aber auch gleichzeitig Untersuchungen über den Betrieb und die Betriebs-

sicherheit von Solarbatterien vorgenommen. Dazu dienten zwei auf gegenüberliegenden Seiten des Satellitenmantels angebrachte zusätzliche Sonnenbatterien, die aus jeweils zwei Teilen mit verschiedenen Überzügen bestanden. Außerdem gehörte zu jeder dieser

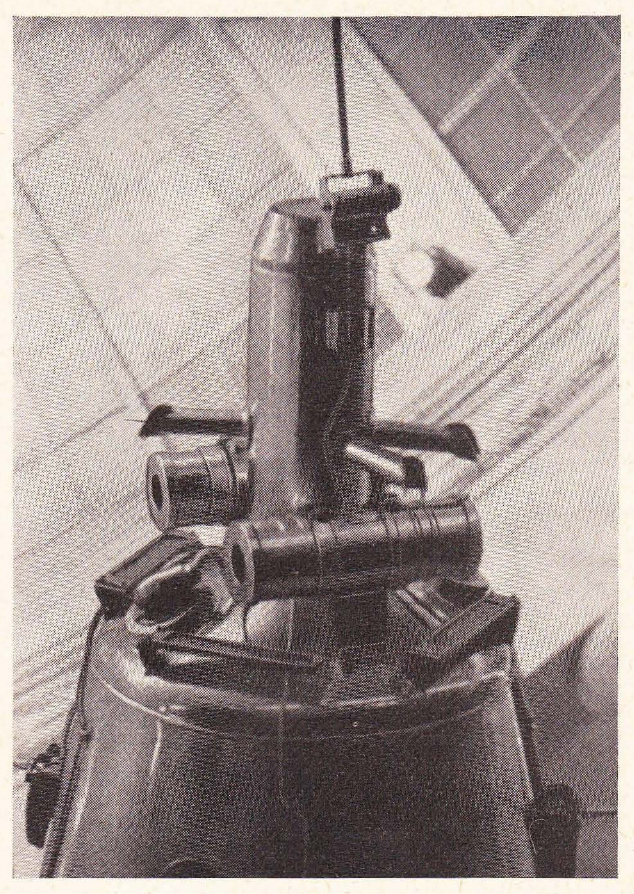


Bild 7. Vorderer Teil des Sputnik III. Drei von vier Sektoren der hier angebrachten Solarbatterien sind zu erkennen

Versuchsanordnungen ein Widerstandsthermometer mit einem aufgeklebten Plättchen aus monokristallinem Silizium. Einer der Teile der Solarbatterie war jeweils mit einem Mattglasfenster abgedeckt, während sich der andere auf einer Seite hinter einem Fenster aus poliertem Glas befand. Der zweite Teil der anderen Batterie war ungeschützt. Auf diese Weise konnte man die Einwirkung der Erosion durch Mikrometeoriten studieren.

Die Leistung des Sektors unter der Mattglasscheibe konnte sich nicht verändern, denn durch die Erosionswirkung von Mikrometeoriten kann eine Mattglasscheibe nicht undurchsichtiger werden. Der Zustand der polierten Scheibe mußte sich dagegen langsam dem der Mattglasscheibe annähern, da die dauernd auftretenden Mikrometeoriten beinahe wie ein Sandstrahlgebläse wirken. Aus der Leistungsverminderung dieser Sektion der Solarbatterie mußte also deutlich zu erkennen sein, in welchem Maße die Durchsichtigkeit dieser Scheibe abnimmt. Die völlig frei liegende Sektion müßte schließlich gänzlich unwirksam werden, da die dünne Siliziumschicht durch die Wirkung von Mikrometeoriten langsam abgetragen wird. Mit dem Widerstandsthermometer war es möglich, genaue Temperaturwerte der Solarbatterien zu erhalten. Als Ergebnis zeigte sich, daß die Temperatur dieses Siliziumelements nur zwischen 16 und 30 °C schwankte. Das ist wohl vor allem auf die Spezialbearbeitung der Batteriegehäuse und die Wahl des Ausstrahlungskoeffizienten zurückzuführen. Außerdem hatten die Solarbatterien einen sehr geringen Wärmekontakt mit dem Satellitengehäuse. Damit konnte bewiesen werden, daß bei zweckmäßiger Konstruktion ein Ausfall der Photoelemente infolge Überhitzung nicht zu befürchten ist. Der Einfluß der Erosionswirkung von Mikrometeoriten wurde ebenfalls als außerordentlich geringfügig erkannt.

Durch den fast zweijährigen ununterbrochenen Betrieb und das nur geringfügige Nachlassen der Leistungsfähigkeit konnte außerdem festgestellt werden, daß die kosmische Höhenstrahlung sowie die intensive Ultraviolett- und Röntgenstrahlung der Sonne die Funktionstüchtigkeit der Solarbatterien kaum beeinflußt. Vollkommen unempfindlich sind aber Silizium-

sonnenbatterien gegen Elektronen- und Protonenstrahlung nicht, wie entsprechende Untersuchungen gezeigt haben. Vor allem für automatische Geräte, die später einmal innerhalb der Strahlungsgürtel die Erde umkreisen werden, muß man an Schutzmöglichkeiten denken. Bei Experimenten haben mit Blaufiltern abgedeckte Solarzellen die längste Lebensdauer gezeigt.

Die Signale des Senders Majak waren bis zum 6. April 1960 von den funktechnischen Satellitenbeobachtungsstationen zu empfangen, also bis zum Tage des Verglühens von Sputnik III. Umfangreiche Untersuchungen über den Zustand der Ionosphäre und über ionosphärische Veränderungen ließen sich ausführen. Die endgültige und abschließende Auswertung dieses Materials wird trotz automatischer Auswertungsmethoden und der Verwendung elektronischer Rechenhilfsmittel noch einige Zeit in Anspruch nehmen. Mit einer Bahnneigung von wiederum etwa 65°, einem Perigäum von 226 km und einem anfänglichen Apogäum von 1880 km waren die Voraussetzungen zur Untersuchung der Ionosphäre *außerordentlich günstig*.

Die für den Betrieb des Senders notwendige Temperaturregelung im Innern des Satelliten erfolgte hier neben der Gaszirkulation erstmalig noch auf eine andere Weise. Am unteren Teil des Satelliten waren 16 jalousieartige Klappen angebracht. Durch das automatische Öffnen und Schließen dieser Klappen konnte das Verhältnis von aufgenommener Strahlungsmenge und abgestrahlter Wärmemenge geändert werden, da sich mit dem Aufklappen dieser Jalousie die strahlende Oberfläche des Satelliten vergrößerte.

Betrachten wir im Vergleich hierzu die ersten amerikanischen Satelliten und die Möglichkeiten, die durch ihre Bahnlage und ihre Instrumentierung für ionosphärische Untersuchungen gegeben waren. Alle bis Ende Oktober 1959 gestarteten amerikanischen Satelliten waren mit Sendern ausgerüstet, deren Frequenzen in der Größenordnung 108 MHz lagen. Diese hohen Frequenzen gehen so gut wie ungestört durch die Ionosphäre hindurch. Aus der Untersuchung der Funksignale aller dieser Satelliten konnten also kaum Rückschlüsse auf den Zustand und die Veränderungen der Ionosphäre gezogen werden. Wegen der sehr geringen

Nutzlastkapazität der Trägerraketensysteme konnten in die Satelliten nur Sender eingebaut werden, deren Leistung einige 10 Milliwatt kaum übertraf. Weil man sich von vornherein darüber im klaren war, daß man nur leistungsschwache Sender verwenden könne, verzichtete man auf die Möglichkeit der Ionosphärensondierung durch Funksignale. Die zur Verfügung stehende Sendeleistung hätte dazu nicht ausgereicht.

Dadurch, daß die Steuerungssysteme der ersten amerikanischen Trägerraketen keinesfalls so genau arbeiteten, um von vornherein die Höhe des Perigäums und des Apogäums bestimmen zu können, wäre ein derartiges Programm auch schwer zu verwirklichen gewesen. Als Beispiel seien die Perigäumshöhen der drei ersten erfolgreichen Explorer-Satelliten genannt: Explorer I = 361 km, Explorer III = 195 km, Explorer IV = 262 km. Wir haben es hier also mit Abweichungen von ± 85 km vom Mittelwert zu tun. Die Abweichung der Perigäumshöhen vom Mittelwert bei den drei ersten sowjetischen Sputniks beträgt ± 1 km.

Der erste amerikanische Satellit, bei dem die Frequenzen von 20 und 40 MHz eingesetzt wurden, war der am 13. Oktober 1959 gestartete Explorer VII. Erst zu diesem Zeitpunkt waren Rückschlüsse auf die Elektronendichte möglich. Für diese Untersuchungen allerdings lag die Bahn recht hoch: die Perigäumshöhe betrug 557 km, die Apogäumshöhe anfänglich 1069 km. Dieser Satellit gelangte also niemals in Gebiete unterhalb des Maximums der Ionisation.

Der erste amerikanische Satellit, der für spezielle Ionosphärenuntersuchungen ausgelegt war, ist der am 3. November 1960 gestartete Explorer VIII, mit dessen Hilfe die Dichte der positiven Ionen und der Elektronen gemessen werden sollte. Allerdings fiel bei diesem Satelliten der Sender schon vorzeitig aus. Auch die Bahnhöhe ist im Vergleich zu der der sowjetischen Sputniks ungünstiger, denn das Perigäum liegt in 415 km Höhe. Weitere wissenschaftliche Satelliten mit speziellen Ionosphärenforschungsaufgaben wurden bisher von den USA noch nicht gestartet. Im Programm der NASA, der amerikanischen Raumfahrt- und Luftfahrtbehörde, sind allerdings noch Satellitenstarts zu ionosphärischen Untersuchungen vorgesehen. Für die

USA sind also einige Untersuchungen heute noch Projekte, die bereits 1957 und 1958 durch die ersten drei sowjetischen Satelliten ausgeführt werden konnten.

Die von allen bisher gestarteten Raumflugkörpern ausgestrahlten Funksignale waren nicht nur einfache Impulse, sondern mit ihnen wurde jeweils eine große Anzahl von Meßwerten übertragen. Denken wir nur an die Meßausrüstung von Sputnik I und II, die anfangs eine Vielzahl von Werten in sehr kurzen Abständen zur Erde funken mußten, so kann man sich ungefähr vorstellen, welche komplizierten Aufgaben von der Funkapparatur dieser Satelliten zu bewältigen waren. Auch durch die Funksignale des ersten Sputnik wurden schon Meßwerte übertragen, so u. a. die Werte der Gasdichte der Stickstoffüllung, Temperaturwerte an verschiedenen Stellen der Gehäusewand, der Sendeapparaturen und der Batterien. Für die Übertragung der gemessenen Größen setzt man sogenannte Mehrkanalmeßwertsender ein, mit deren Wirkungsweise wir uns jetzt beschäftigen wollen.

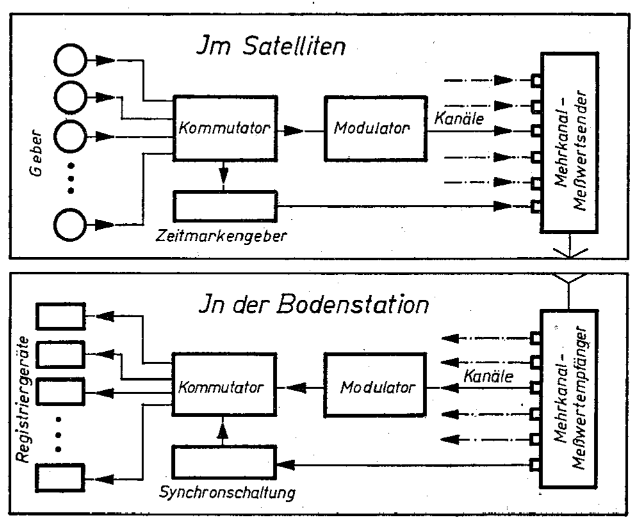


Bild 8. Schematische Darstellung des Aufbaus eines Mehrkanal-Meßwertübertragungssenders und -empfängers

Die Übertragung der Meßwerte erfolgt auf mehreren Kanälen. Der Bordsender des Meßsatelliten arbeitet auf der Frequenz von 20 MHz bzw. 15 m Wellenlänge. Der Sender gibt aber nicht nur Schwingungen ab, die genau der Wellenlänge von 15 m entsprechen, sondern auch Wellen, die ein klein wenig kürzer oder ein klein wenig länger sind. Er strahlt in einem schmalen Frequenzband um den Wert von 20 MHz. Mit radiotechnischen Hilfsmitteln läßt sich dieser Frequenzbereich noch in einzelne Teile trennen. Einen solchen Teil dieses Frequenzbands nennt man Kanal des Übertragungssystems. Bei der Frequenz von 20 MHz lassen sich etwa fünf bis sechs Kanäle voneinander trennen. Jeder dieser Kanäle wirkt wie ein selbständiger Sender. Diesen einzelnen Kanälen werden nun durch den Modulator bestimmte Meßwerte aufgeprägt. Die Werte, die die Meßinstrumente liefern, müssen elektrische Größen sein oder in solche umgesetzt werden. Der Modulator im Sender hat nun die Aufgabe, diese elektrischen Spannungen oder Ströme den Wellen eines bestimmten Kanals in irgendeiner Weise aufzuprägen.

Dabei gibt es verschiedene Prinzipien. So kann man beispielsweise die Schwingungshöhe des durch den Sender erzeugten Signals durch die vom Modulator kommende elektrische Größe verändern. Die Größe der Amplitude ergibt dann jeweils ein Maß für die Größe des gemessenen Wertes. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, daß man unregelmäßig auftretende Meßwerte — wie beispielsweise das Auftreffen von Mikrometeoriten — dadurch überträgt, indem man kurzzeitig die Ausstrahlung des Senders unterbricht. Dabei kann die Variation der Zeitdauer der Unterbrechung ein Maß für die Größe des Wertes sein. Außerdem kann man durch die Meßwerte die Zeiten zwischen den einzelnen Impulsen oder die Dauer der einzelnen Impulse des Sendersignals verändern.

Die Empfangsapparatur der Bodenstation muß nun einen Demodulator besitzen, der aus den einzelnen Kanälen jeweils die aufgeprägten Meßwerte herausfiltert und sie wiederum in die entsprechenden elektrischen Größen umwandelt, die dann automatisch registriert werden. Bei unserem eben angeführten Beispiel wäre es möglich, wenn wir nur die vier Arten der

Modulation benutzen, auf den sechs Kanälen gleichzeitig 24 Meßwerte zu übertragen. Da es aber in der Praxis notwendig ist, eine bedeutend größere Zahl von Werten zu übertragen, wendet man einen Kunstgriff an. Es ist beispielsweise nicht so wichtig, 24 Meßwerte von ebenso vielen Meßgeräten unbedingt gleichzeitig zu erhalten, sondern es genügt bei den meisten Messungen, die Werte in bestimmten Abständen zu bekommen.

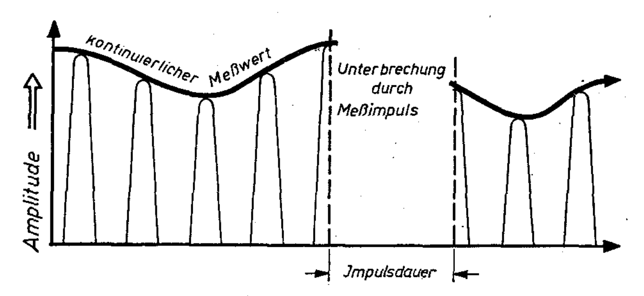


Bild 9. Schematische Darstellung der Modulation von Satellitensignalen — Amplituden und Impulsmodulation

Abstände von einer oder einer halben Sekunde reichen meist aus. Damit ergibt sich die Möglichkeit, auf einem Kanal mit einer Methode der Frequenzmodulation nacheinander die Meßwerte von 20 oder 50 Meßinstrumenten zu übertragen. Diese Aufgabe erfüllt der sogenannte Kommutator. Das ist ein Gerät, das etwa einem Wechselschalter gleichkommt. Nacheinander werden durch den Kommutator die einzelnen Meßinstrumente mit dem Modulator für einen bestimmten Kanal verbunden. Die Anzahl dieser Umschaltungen in der Sekunde bezeichnet man als die Schaltfrequenz des Kommutators. Mit mechanischen Kommutatoren lassen sich einige Dutzend Umschaltungen pro Sekunde durchführen. Elektronische Anlagen erlauben sogar, einige hundert Meßinstrumente in einer Sekunde „abzufragen". Multiplizieren wir nun diese Zahl mit der Anzahl der Modulationsmöglichkeiten und der Anzahl der Kanäle, so bekommt man einen Eindruck davon, wie groß die Anzahl der Meßwerte sein kann, die von einem einzigen Satellitensender übertragen werden.

Selbstverständlich ist es notwendig, auch auf der Empfängerseite einen Kommutator anzuordnen, der mit dem im Satellitensender ganz exakt synchron arbeitet. Um das zu erreichen, mischt man unter die Signale des Senders noch sogenannte Synchronisationssignale, die in der Bodenstation auf den Kommutator wirken. Durch die Signale wird der Kommutator des Empfängers sozusagen gezwungen, mit dem Kommutator des Satellitensenders im Gleichlauf zu arbeiten. Genauso wichtig ist ferner die Übertragung bestimmter Zeitmarken, da bei dieser hohen Übertragungsgeschwindigkeit der Meßwerte Bruchteile von Sekunden eine Rolle spielen und der Satellit sich in einer Sekunde um 8 km weiterbewegt. Außerdem müssen bestimmte Eichwerte der Meßinstrumente mit übertragen werden, da sich durch die vielfältigen Einflüsse im kosmischen Raum irgendwelche Nullpunktverschiebungen oder Empfindlichkeitsänderungen an den Meßinstrumenten ergeben können.

Diese kurzen Andeutungen über das System der Meßwertübertragung machen deutlich, wie schwierig, langwierig und umfangreich die endgültige Auswertung der übertragenen Meßgrößen ist.

Schon vom zweiten Sputnik an wurden bei den sowjetischen Erdsatelliten für die Übertragung der wichtigsten Meßwerte spezielle Meßwertübertragungssender mit einer sogenannten Speicheranlage eingesetzt. Da die Frequenzen von 20 und 40 MHz in der Ionosphäre bestimmten Veränderungen ausgesetzt sind, ist es günstiger, zur Übertragung sehr wichtiger Meßwerte höhere Frequenzen zu verwenden, da sonst die Werte durch die ionosphärischen Einflüsse verstümmelt werden können. Außerdem erhält man bei der kontinuierlichen Meßwertübertragung nur solange Werte, wie sich der Satellit im Empfangsbereich von Bodenstationen befindet. Um Meßwerte von jedem Bahnpunkt zu erhalten, ist eine Speicherung dieser Größen notwendig. Überfliegt nun der Satellit eine Empfangsstation auf dem Territorium der Sowjetunion, so wird durch einen Funkimpuls von der Bodenstation aus der Meßwertsender in Tätigkeit gesetzt, der in sehr schneller Folge die gespeicherten Werte von einem oder mehreren Erdumläufen überträgt. Die Übertragungszeit darf

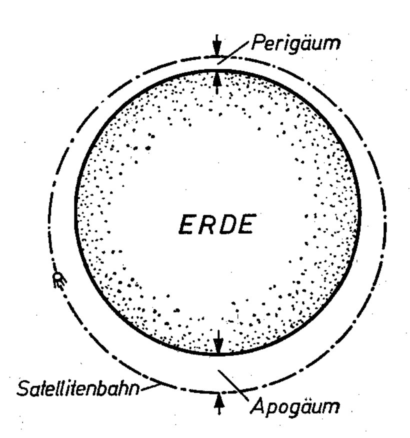
dabei kaum 4 Minuten überschreiten, da sich ein niedrig fliegender Erdsatellit bei der Verwendung höherer Frequenzen nicht länger im Empfangsbereich einer Station befindet. Als Speicher für die Meßwerte werden meist magnettonbandähnliche Systeme verwendet.

Die Auswertung empfangener Satellitensignale hinsichtlich ihres Informationsgehalts an Meßwerten ist natürlich nur dem Land möglich, das den Satelliten gestartet hat, was aus dem eben Gesagten ohne weiteres hervorgeht.

BAHNBESTIMMUNGEN AUS FUNKBEOBACHTUNGEN

Wie schon mehrfach angedeutet, gibt es aber Möglichkeiten, aus dem Empfang von Satellitensignalen interessante wissenschaftliche Schlußfolgerungen zu ziehen.

Betrachten wir zunächst die Bahn eines Erdsatelliten. Wir unterscheiden den erdnächsten Punkt, das Perigäum, den erdfernsten Punkt, das Apogäum, die Bahnneigung gegen den Erdäquator und die Umlaufzeit (siehe Bild 10). Da die Dichte der Luft mit zunehmender Höhe abnimmt, wird im Perigäum der größte Luftwiderstand auf den Satelliten wirksam werden. Die Bahnänderungen, die durch den Luftwiderstand entstehen, sind in Bild 11 schematisch wiedergegeben. Das Apogäum sinkt langsam ab, es liegt nach jedem Umlauf um einen bestimmten Betrag tiefer. Das macht sich am deutlichsten in einer Verkürzung der Umlaufzeit bemerkbar. Die geringfügige Bremsung, die der Satellit im Apogäum erfährt, kann anfangs praktisch vernachlässigt werden. Die Abnahme der Umlaufzeit hängt also von der Luftdichte in Perigäumshöhe ab. Allein aus der zeitlichen Beobachtung der Veränderung der Umlaufperiode lassen sich also ohne weiteres Werte der Luftdichte in Perigäumshöhe ableiten, wenn die geometrische Form, die Abmessungen und die Masse des Satelliten bekannt sind. Dabei spielt selbstverständlich auch noch die Rotations- und Präzessionsbewegung des Satelliten eine Rolle. Man muß also nach Möglichkeiten suchen, die Umlaufzeit eines Satelliten mit hoher Genauigkeit aus dem Empfang der Satellitensignale zu ermitteln. Eine direkte Bestimmung aller Bahnparameter kann dann erfolgen, wenn es gelingt, aus den Funkbeobachtungen den jeweiligen Ort des Satelliten an der Sphäre zu bestimmen, praktisch also Funkortungen des Satelliten auszuführen. Aus diesen Funkortungen kann man, wenn sie in genügender Dichte erfolgen, mit bedeutend höherer Genauigkeit



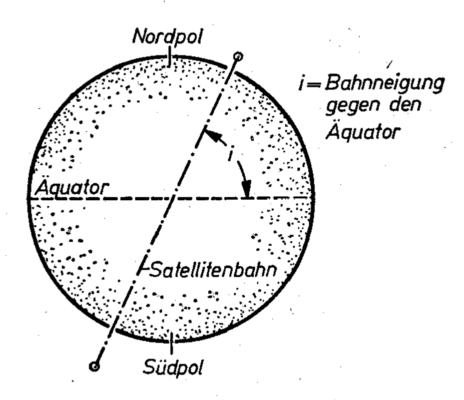


Bild 10. Schematische Darstellung einer Satellitenbahn

die Bahnänderungen bestimmen und damit einigermaßen sichere Werte über die Luftdichte in Perigäumsnähe errechnen.

Welche Funkbeobachtungen können zur Bahnbestimmung ausgeführt werden? Man sollte meinen, daß sich aus der Feststellung der jeweils größten Empfangsfeldstärke ohne weiteres die größte Annäherung des Satelliten an den Beobachtungsort ableiten ließe und

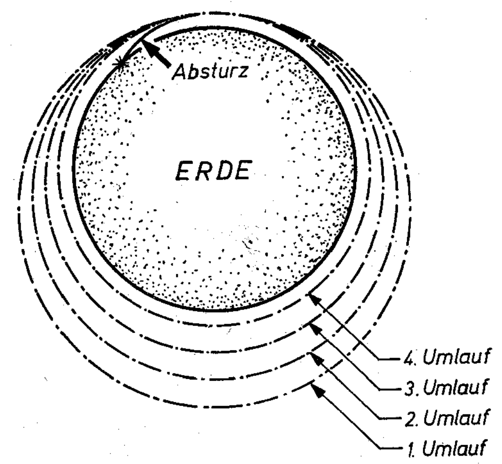


Bild 11. Schematische Darstellung der Abbremsung eines Satelliten

man auf diesem Wege die Umlaufzeit bestimmen könnte. Die ersten Versuche kurz nach dem Start von Sputnik I, die von Funkamateuren und auch von kommerziellen Funkstationen ausgeführt wurden, liefen in

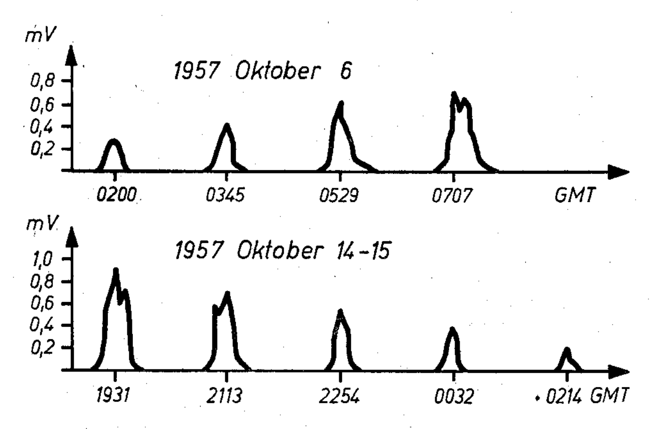


Bild 12. Feldstärke des ersten Sputnik, gemessen an der Volkssternwarte Bochum

dieser Richtung. Als ein Beispiel sei in Bild 12 die Registrierung der Empfangsfeldstärke von Sputnik I dargestellt. Die Werte zeigen deutlich, daß bei dieser Methode die auftretenden Fehler noch recht beträchtlich sind, da durch Schwunderscheinungen der Ionosphäre die Lage des Maximums der Empfangsfeldstärke nicht immer mit dem Zeitpunkt der größten Annäherung übereinstimmt. Aus diesen Messungen ließ sich die Umlaufzeit nur mit einer Genauigkeit von ± 1 min bestimmen.

Für die statistische Auswertung langlebiger Satelliten mögen solche Messungen von Interesse sein, ihre Genauigkeit reicht jedoch nicht aus, um daraus Werte der Luftdichte zu errechnen.

Es gibt aber eine relativ einfache Beobachtungsart, mit der sich die Bahn ausreichend genau bestimmen läßt. Es handelt sich dabei um die Feststellung des sogenannten Dopplereffektes, so genannt nach seinem Entdecker, dem österreichischen Physiker Christian Doppler (1803 bis 1853). Dieser Effekt tritt sowohl bei elektromagnetischen als auch bei akustischen Wellen auf. Bild 13 soll erläutern, wie wir uns das Entstehen des Dopplereffektes vorstellen können. Bewegt sich ein wellenaussendender Körper auf den Beobachter zu, so können wir uns vorstellen, daß die Wellen dabei gewissermaßen zusammengedrückt werden, die Wellenlängen also kürzer werden und die Frequenz höher. Bewegt sich der wellenaussendende Körper von uns weg, so werden die Wellen „in die Länge gezogen", die Wellenlänge wird größer, die Frequenz niedriger. Diese Frequenzänderung läßt sich bei einem Erdsatelliten messen. Beim Schall beispielsweise ist der Dopplereffekt deutlich wahrzunehmen. Steht man an einem Bahndamm und eine pfeifende Lokomotive fährt an uns vorüber, so wird man im Augenblick des Vorbeifahrens eine Änderung in der Tonhöhe feststellen können. Solange die Lokomotive sich auf uns zu bewegt, ist der Ton höher (höhere Frequenz), bewegt sich die Lokomotive von uns weg, hören wir einen tieferen Ton (niedrigere Frequenz).

Gelingt es, während eines Satellitendurchgangs die Frequenz messend zu verfolgen, so werden wir eine Frequenzkurve erhalten, die der schematischen Dar-

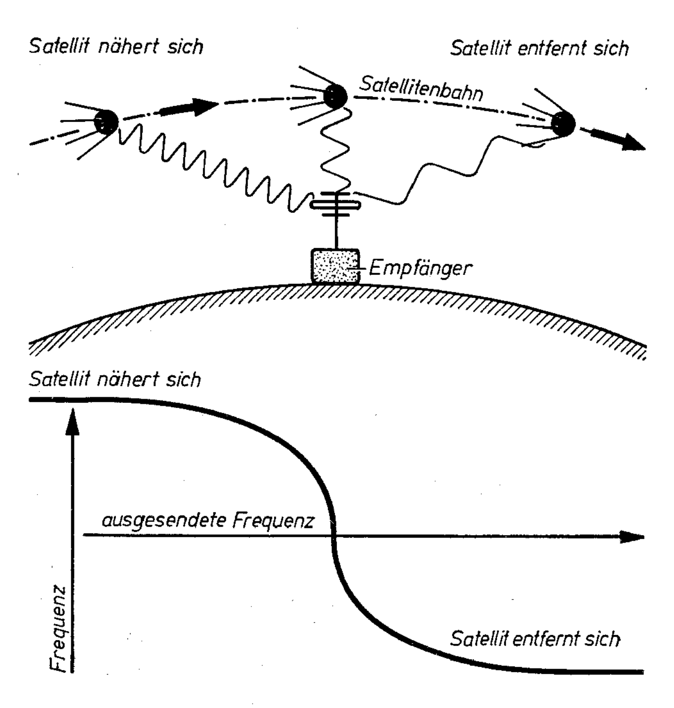


Bild 13. Schematische Darstellung des Dopplereffekts und der Dopplerkurve

stellung in Bild 13 ähnelt. Hier ist der ideale Fall angenommen, daß der Satellit genau den Beobachtungsort kreuzt, also durch den Zenit geht (Zenit ist der Punkt senkrecht über uns). Es läßt sich errechnen, daß bei einer Sendefrequenz von 20 MHz und einer Satellitengeschwindigkeit von 8 Kilometern pro Sekunde eine Frequenzänderung von 1000 Hz auftritt. Obgleich diese Frequenzänderung sehr gering ist — sie macht nur den fünfhunderttausendstel Teil der Sendefrequenz aus —, läßt sie sich doch mit den Mitteln der modernen Nachrichtentechnik ohne weiteres messend verfolgen.

Aus dieser Frequenzkurve kann man den Zeitpunkt des geringsten Abstands des Satelliten vom Beobachtungsort mit großer Genauigkeit bestimmen. Er hat

seinen geringsten Abstand dann, wenn die Frequenzkurve durch die Normalfrequenz geht. Geht der Satellit nicht genau durch den Zenit, so erhält man Kurven, wie sie Bild 14 entsprechen. Bei diesen Messungen, die in bezug auf Genauigkeit keinesfalls dem maximal Erreichbaren entsprechen, konnte der Zeitpunkt der größten Annäherung des Satelliten bis auf 10 Sekunden genau bestimmt werden. Bei der Beobachtung einer größeren Zahl von Satellitendurchgängen lassen sich mit dieser Genauigkeit schon recht gute Werte der Umlaufzeit eines Satelliten ableiten.

Aus den Frequenzkurven des Bildes 14 läßt sich deutlich erkennen, daß der Durchgang dieser Kurven durch die Normalfrequenz mehr oder weniger steil erfolgt. Legt man eine Tangente an diese Kurve in dem Punkt des Nulldurchgangs, so ist der Winkel, den diese Tangente bildet, ein Maß für den wirklichen Abstand des Satelliten von der Beobachtungsstation. Beträgt der Winkel 90° (vgl. auch theoretische Kurve in Bild 13), so haben wir es mit einem Zenitdurchgang zu tun. Je flacher dieser Winkel, desto größer der Abstand des Satelliten im Zeitpunkt der höchsten Annäherung.

Noch eine dritte Größe kann man aus der Dopplerfrequenzkurve ableiten: Aus der Umlaufzeit des Satelliten ist die große Halbachse seiner Bahn bekannt. Mit Hilfe des Energiesatzes läßt sich ferner die zu jeder Flughöhe gehörende Geschwindigkeit genau berechnen. Wir wissen jedoch nicht, welche Flughöhe der Satellit im Zeitpunkt der größten Annäherung besitzt. Aus der Frequenzkurve ergibt sich aber der Wert der Geschwindigkeit. Mit Hilfe des Energiesatzes können wir mit dem genannten Wert nun umgekehrt die wirkliche Flughöhe des Satelliten berechnen.

Mit diesen drei allein aus der Auswertung der Dopplerkurve zu gewinnenden Größen, also der Umlaufzeit, des wirklichen Abstands des Satelliten und seiner Flughöhe, ist es möglich, nach Methoden der astronomischen Bahnberechnung die wirkliche Bahn des Satelliten zu ermitteln. Es würde den Rahmen dieser Broschüre sprengen, wollte man die Berechnungsmethoden näher anführen.

Es sei aber darauf hingewiesen, daß bei der Auswertung der Dopplerkurven noch eine Reihe von Fakten

und möglichen Fehlerquellen berücksichtigt werden müssen, wie beispielsweise die Rotationsgeschwindigkeit der Erde. Ferner treten durch die Wirkung der Ionosphäre Störungen auf, die sich allerdings nicht auf rechnerischem Wege erfassen lassen. Hier muß man den Weg über den graphischen Ausgleich gehen und eine größere Zahl von Einzelbeobachtungen zu Mittelwerten zusammenfassen. Auf diesem Wege lassen sich derartige Störungen, die zu falschen Ergebnissen über die Bahnparameter führen würden, berücksichtigen.

Allein aus den in Bild 14 dargestellten Dopplerkurven konnten an der Universitätssternwarte Bonn Bahnbestimmungen ausgeführt werden, deren mittlere Fehler bei der Perigäumsdistanz mit ± 17 km angegeben wurden. Die Änderung der Umlaufzeit und damit auch der großen Halbachse der Satellitenflugbahn wurde sehr genau bestimmt. Wie oben angedeutet, ergeben die Änderungen der Umlaufzeit Werte über die Dichte der Luft in Perigäumshöhe. Aus den Beobachtungen vom 9. bis 25. Oktober 1957 konnte bereits eindeutig nachgewiesen werden, daß die bis dahin angenommenen Werte der Luftdichte in Perigäumshöhe stark von den aus der Bahnänderung berechneten abwichen.

In ähnlicher Weise führte man an der Universitätssternwarte Jena Bahnbestimmungen des dritten Sputnik durch. Die Beobachtungen beschränkten sich hier auf einen Zeitraum von rund zwei Monaten. Es wurde allerdings — da man verfeinerte Beobachtungsmethoden anwendete und ein umfangreicheres Material zur Auswertung zur Verfügung stand — eine bedeutend höhere Genauigkeit erreicht. Der mittlere Fehler der Umlaufzeit lag nur in der Größenordnung von einer halben Sekunde; damit konnte die große Bahnhalbachse bis auf einen mittleren Fehler von 200 m bestimmt werden. Der Fehler der Perigäumsdistanz betrug ± 4 km, der der Apogäumsdistanz ± 5 km. Der mittlere Fehler der Bahnneigung wurde mit 0,2° angegeben.

Diese Werte mögen zeigen, daß aus der Dopplerbeobachtung Bahnwerte mit sehr kleinen Fehlern errechnet werden können, die uns ein ausgezeichnetes Bild von der Dichte der Luft in Perigäumshöhe vermitteln.

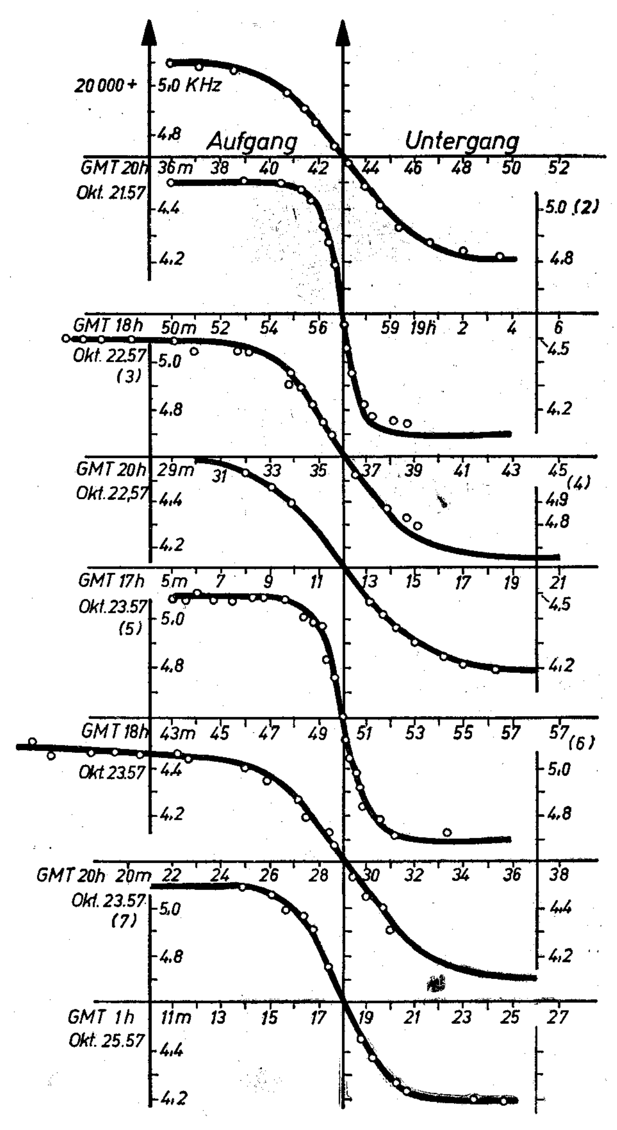


Bild 14. Dopplerkurven nach der Beobachtung des ersten Erdsatelliten an der Universitätssternwarte Bonn

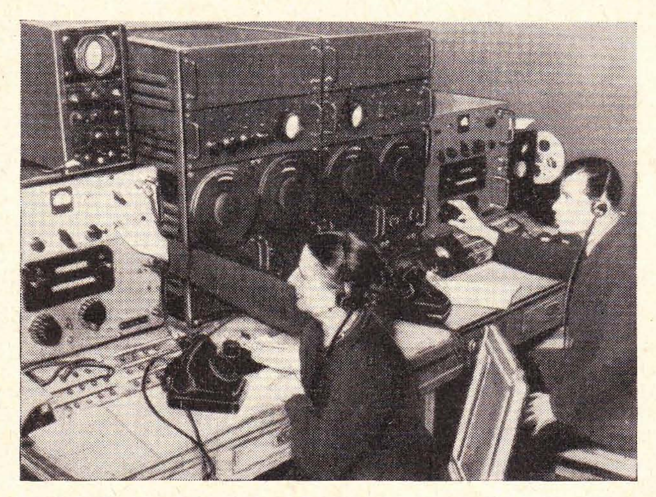


Bild 15. Funktechnische Satellitenbeobachtungsstation in der UdSSR

Die Messungen der Frequenzverschiebung infolge des Dopplereffektes wurden von den meisten funktechnischen Beobachtungsstationen auf folgende Weise ausgeführt: Ein von einem Quarzsender erzeugtes Signal mit einer Frequenz nahe der Sputnikfrequenz wird auf die Antennenleitung eines Empfängers gegeben. Diese Signale werden also praktisch mit den Sputniksignalen gemischt. Um die Sputnikfrequenz zu messen, ist es notwendig, die von dem Quarzsender kommenden Signale mit den Sputniksignalen zu überlagern und die Schwebung auf einem Oszillographen zu beobachten.

Auch auf akustischem Wege ist es möglich, die Schwebungsfrequenz zu bestimmen. Mit Hilfe eines Tongenerators läßt sie sich hier direkt messend verfolgen. Auf diese Weise erhält man recht genaue Werte der Frequenzänderung der Satellitensignale während eines Durchgangs.

Eine weitere Möglichkeit der Bahnbestimmung auf funktechnischem Wege ergibt sich durch den Einsatz von Kurzwellen- und Ultrakurzwellenpeilgeräten. Voraussetzung hierfür ist eine Peilanlage, die noch auf

sehr schwache Signale mit Feldstärken bis zu 0,1 Mikrovolt pro Meter anspricht und deren Genauigkeit der Richtungspeilung auch bei schwachen Signalen noch mindestens 1° beträgt. Ferner muß die Möglichkeit gegeben sein, jeden einzelnen Peilwert bis auf mindestens eine Sekunde genau zeitlich zu erfassen. Bild 16 zeigt die einzelnen Meßpunkte einer Radiopeilung von Sputnik III auf 20 MHz, die mit einer Adcock-Sichtpeilanlage in Ulm gewonnen wurden. Die Punktfolge läßt die systematischen Abweichungen erkennen, die auf die Einflüsse der Ionosphäre zurückzuführen sind. Bei diesen Peilungen macht sich der Einfluß der Ionosphäre in bedeutend stärkerem Maße bemerkbar als bei Dopplereffektbeobachtungen. Wie stark hier die Abweichungen sein können, soll Bild 16 demonstrieren, das sehr starke Verwerfungen der Peilrichtung in großen Entfernungen zeigt.

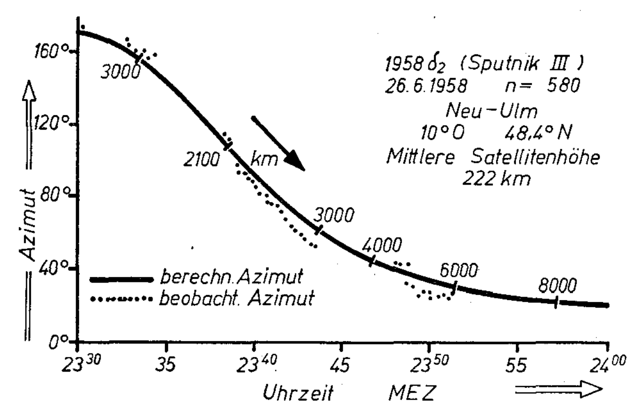


Bild 16. Radiopeilung des Sputnik III auf 20 MHz mit starken Verwerfungen der Peilrichtung in großen Entfernungen

Obgleich die funktechnischen Beobachtungen mit Peilanlagen vor allem für ionosphärische Untersuchungen interessantes Material liefern, lassen sich aber auch aus der Häufung der Beobachtungen die Durchgangszeiten des Satelliten mit einer Genauigkeit von mindestens 2 Sekunden bestimmen. Von der obenerwähnten

Station konnten beispielsweise allein von Sputnik III insgesamt über eine Million Peiloszillogramme aufgenommen und zur Auswertung benutzt werden. So gelang es, sehr interessante Zusammenhänge zwischen der Luftdichte in Perigäumshöhe und der Änderung der Sonnenfleckentätigkeit zu finden. Bild 17 zeigt die Änderung der Umlaufperiode mit der Zeit. Die gestrichelte Kurve gibt die theoretisch zu erwartende Abnahme der Umlaufperiode mit der Zeit wieder. Die ausgezogene Kurve zeigt die tatsächlich festgestellten Werte. Während der hier dargestellten Zeit verschob sich das Perigäum des dritten Sputniks von 50^0 nördlicher Breite bis über den Äquator. Die tatsächlich beobachtete Abnahme der Umlaufzeit war bedeutend geringer, als theoretisch erwartet werden konnte. Daraus kann man sofort die Schlußfolgerung ziehen, daß die Luftdichte in hohen geographischen Breiten in Perigäumshöhe (225 km) größer sein muß als über dem Äquator. Die höhere Luftdichte über den polaren Gegenden wird als größere Aufheizung der Hochatmo-

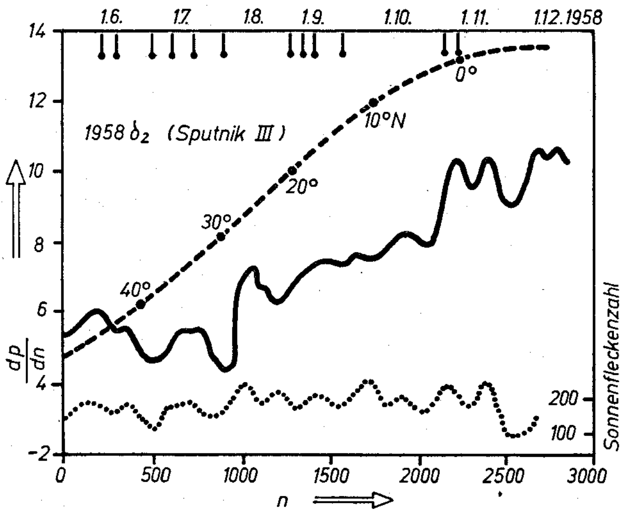


Bild 17. Abnahme der Umlaufzeit des dritten Sputnik und Sonnenfleckenrelativzahlen

sphäre gedeutet, die wahrscheinlich vor allem durch den Zustrom von Korpuskularwolken zu erklären ist, die von der Sonne stammen. Diese Annahme wird durch die enge Übereinstimmung der Kurve der Umlaufzeitabnahme mit der punktiert im unteren Teil des Bildes dargestellten Kurve der Sonnenfleckenrelativzahlen noch erhärtet. Bekanntlich geben die Relativzahlen auch ein recht gutes Bild von der Häufigkeit der korpuskularen Strahlungsausbrüche der Sonne.

Eine vierte Möglichkeit der funktechnischen Satellitenbeobachtung ist durch den Einsatz von Radargeräten gegeben. Hier geht es nicht darum, ein von einem Satelliten ausgestrahltes Signal zu empfangen, sondern von einer gerichteten Antenne wird ein Impuls ausgestrahlt, den der Satellitenkörper reflektiert und den die Antenne wieder aufnimmt.

Aus der Laufzeit dieses Impulses läßt sich die Entfernung des Satelliten von der Beobachtungsstation bis auf wenige zehn Meter genau bestimmen. Aus der Richtung des abgestrahlten bzw. einfallenden Signals ist der Ort des Satelliten an der Sphäre recht genau gegeben. Radarbeobachtungen könnten also Meßwerte für die Bahnberechnung von bedeutend höherer Genauigkeit liefern als alle bisher angeführten Methoden.

Leider gibt es bei der Radarbeobachtung eine ganze Reihe von Schwierigkeiten. Die Größe der Satelliten oder der letzten Stufen ihrer Trägerraketen liegt nur in der Größenordnung von wenigen Metern. Um derart „kleine“ Objekte in Entfernungen von einigen hundert Kilometern noch sicher zu erfassen, sind außerordentlich große Reflektoren mit sehr hohem Antennengewinn erforderlich. Ferner müßten extrem kurze Wellen (Dezimeter-Bereich) verwendet werden. Wurde die Bahn des Satelliten nicht auf anderem Wege schon relativ sicher ermittelt, so ist es infolge des hohen Auflösungsvermögens der größten Radioteleskope sehr schwierig, einen Satelliten aufzufinden. Das sind auch die Gründe, warum die Radarbeobachtung bisher eine untergeordnete Rolle gespielt hat. Nur sehr wenige Instrumente kämen überhaupt in Frage; es gibt kaum ein Dutzend Radioteleskope auf der Erde, deren Antennenflächen für eine sinnvolle Satellitenbeobachtung ausreichen würden.

Selbstverständlich wurden Versuche durchgeführt, mit Radargeräten künstliche Erdsatelliten zu erfassen. Vor allem in den USA war man daran interessiert, aus Radarbeobachtungen Rückschlüsse über die Dimensionen der sowjetischen Satelliten und vor allen Dingen der Endstufen ihrer Trägerraketen zu ziehen. Dabei konnte die schon obenangeführte Feststellung gemacht werden, daß die reflektierende Fläche des Sputnik größer erschien als sein wirklicher Durchmesser. Das rührt von einer Wolke elektrisch geladener Teilchen her, die den Satelliten umgibt. Bei der Endstufe der Trägerrakete von Sputnik I wurde aus den Echos der Radarsignale eine reflektierende Fläche von 10 m^2 abgeleitet. Natürlich sagt dieser Wert nichts Genaues über die wirkliche Dimension dieser Raketenendstufe aus, da auch hier noch eine Elektronenwolke reflektierend auf die Radarimpulse wirkte.

Die „große Konkurrenz" der funktechnischen Satellitenbeobachtung sind die optischen Beobachtungsmethoden. Wir unterscheiden hierbei grundsätzlich zwei Arten, die visuelle und die photographische Methode. Bei der visuellen Methode wird mit einem Fernrohr, das ein großes Gesichtsfeld hat und mit einem Fadenkreuz ausgerüstet ist, der Zeitpunkt des Durchgangs des Satelliten durch den Faden möglichst genau festgehalten. Da im Gesichtsfeld des Fernrohrs gleichzeitig Untergrundsterne erscheinen, läßt sich auch der Ort des Satelliten zum Zeitpunkt des Durchgangs durch den Faden festhalten. Verglichen mit funktechnischen „Positionsbestimmungen" eines Satelliten muß man sagen, daß hier die Werte mindestens zehnmal, ja sogar bis zu hundertmal genauer sind. Der Zeitpunkt des Durchgangs eines Satelliten durch den Meßfaden läßt sich bei der visuellen Methode mit einer Genauigkeit von einer Zehntelsekunde bestimmen. Den Ort an der Sphäre kann man mindestens bis auf ein zehntel Grad genau angeben.

Bei der photographischen Methode wird mit einer Kamera von möglichst großem Öffnungsverhältnis und relativ großer Öffnung versucht, die Bahnspur des sich bewegenden Satelliten auf der Platte bzw. dem Film abzubilden. Dabei kommt es darauf an, durch ein Verschlußsystem dafür zu sorgen, daß diese Bahnspur

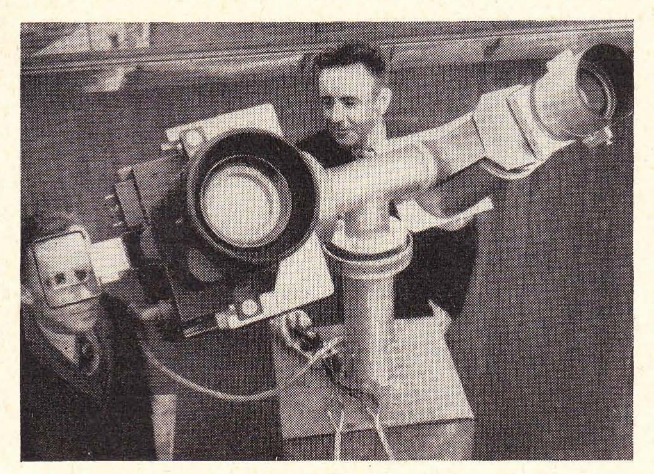


Bild 18. Zwei Kameras der photographischen Satelliten-beobachtungsstation Riga

unterbrochen und der Zeitpunkt dieser Unterbrechung mit möglichst hoher Genauigkeit registriert wird. Auf der photographischen Platte läßt sich nun durch Anschluß an die mitabgebildeten Sterne der Umgebung der Ort des Satelliten mit viel höherer Genauigkeit ausmessen. Man kann diese Unterbrechung der Satellitenspur während des Durchgangs des Satelliten durch das Gesichtsfeld der Kamera mehrfach ausführen und erhält somit eine ganze Serie von Meßpunkten auf einer Aufnahme. Selbstverständlich muß durch die Zeitregistrierung gesichert sein, daß jedem dieser Satellitenörter die Zeit zugeordnet werden kann.

Die Genauigkeit einer photographischen Satellitenbeobachtung hängt natürlich von der Brennweite der verwendeten Optik ab. Bei den in der Satellitenphotographie üblichen Kameras erreicht man bezüglich des Ortes eine Genauigkeit von einer Bogensekunde, wobei die Zeit bis auf $^{1}/_{100}$ Sekunde genau registriert werden muß, da sonst die Genauigkeit der Ortsbestimmung überflüssig wäre. Diese hohe Zeitgenauigkeit kann man natürlich nur durch automatisch arbeitende Apparaturen erreichen.

Wir haben gesehen, daß man aus optischen Satellitenbeobachtungen bedeutend genauere Bahnwerte erhalten kann. Natürlich wird jetzt die Frage auftauchen, warum dann funktechnische Satellitenbeobachtungen überhaupt noch notwendig sind. Um darauf antworten zu können, müssen wir die beiden Arten der Beobachtung miteinander vergleichen und ihre Vor- und Nachteile gegeneinander abwägen.

Im Vergleich zu den funktechnischen haben die optischen Beobachtungen den Nachteil, daß sie vom Wetter und von der Tageszeit abhängen. Bei wolkenverhangenem Himmel kann man natürlich keine optische Satellitenbeobachtung ausführen. Auch bei völlig klarem Himmel wird man am Tage nie einen Satelliten sehen können, denn die Streuung des Sonnenlichts in der Atmosphäre der Erde macht den Himmel zu hell. Für einen Beobachter würde der Satellit infolge der großen Entfernung nur als Sternpunkt erscheinen, und das auch nur dann, wenn er sich nicht im Erdschatten befindet, also von der Sonne beleuchtet wird und

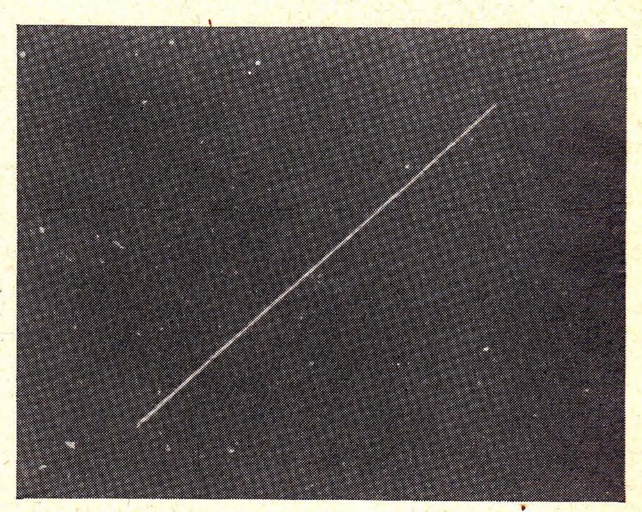


Bild 19. Bahnspur der Trägerrakete des ersten Sputnik nach einer Aufnahme des Verfassers — Contax, Tessar 1 : 2,8, f = 50 mm, 25/10 DIN

der Himmel noch oder schon dunkel genug ist. Der Zeitpunkt der Sichtbarkeit eines Satelliten liegt also nur zwischen wenigen Stunden nach Sonnenuntergang oder vor Sonnenaufgang. Die sowjetischen Satelliten beispielsweise, die alle eine Bahnneigung von 65° hatten, waren während der Hochsommermonate in unseren geographischen Breiten während der ganzen Nacht zu beobachten.

Die Tatsache, daß Satelliten nur in der Dämmerung bzw. kurze Zeit nach oder vor ihr beobachtet werden können, schränkt die photographische Methode wegen der Untergrundhelligkeit des Himmels zeitlich gesehen noch mehr ein. Da es sich bei Satelliten um relativ schnell bewegte Sternpunkte handelt, ist es – wie schon angedeutet – notwendig, eine Kamera mit möglichst großer Öffnung und gleichzeitig möglichst großem Öffnungsverhältnis zu benutzen, um auf dem höchstempfindlichen Plattenmaterial eine noch erkennbare Satellitenspur abzubilden. In der Dämmerung aber können derartige Kameras nicht eingesetzt werden, da die Himmelshelligkeit die Platte sofort verschleiern würde. Photographische Satellitenbeobachtungen können demzufolge im Vergleich zu visuellen noch seltener ausgeführt werden.

Wie den Bildern 14 und 16, die die Dopplerkurven und die Funkpeilbeobachtungen von Satelliten zeigen, entnommen werden kann, ist es sogar möglich, Signale zu empfangen, wenn der Satellit sich unterhalb des Horizontes befindet. Auch sehr horizontnahe Satellitendurchgänge lassen sich noch in die Auswertung einbeziehen. Bei optischen Satellitenbeobachtungen dagegen sind horizontnahe Satellitendurchgänge meist nicht erfaßbar, weil hier die sogenannte Extinktion, d. h. die Schwächung des Sternenlichts durch die Atmosphäre, die Beobachtung lichtschwacher Satelliten unmöglich macht.

Die Vorteile der optischen Satellitenbeobachtung liegen – wie schon gesagt – vor allem in ihrer hohen Genauigkeit. Der Nachteil der geringen Zahl von möglichen Beobachtungen bei einer optischen Station wird in gewisser Weise durch die relativ große Zahl von optischen Satellitenbeobachtungsstationen wieder ausgeglichen. Allein in der Sowjetunion gab es zum Zeitpunkt des Startes des ersten Sputnik bereits 66 Statio-

nen, die visuelle Beobachtungen ausführten, und 24 Stationen mit photographischen Registriereinrichtungen. Diese Stationen konnten in der Zeit vom 4. Oktober 1957 bis zum 1. März 1958 rund 3000 Positionsmessungen der ersten beiden künstlichen Erdsatelliten liefern. Obgleich in anderen Ländern der Erde fast ebensoviel Stationen in diesem Zeitraum etwa die gleiche Anzahl an Einzelbeobachtungen lieferten, ist die Gesamtzahl der optischen Beobachtungen im Vergleich mit den möglichen funktechnischen Beobachtungen doch recht klein. Der größte Vorteil, den funktechnische Beobachtungen haben, besteht darin, daß sie sowohl von der Tageszeit als auch vom Wetter nahezu völlig unabhängig sind. Durch die Vielzahl der allein durch eine Station erhältlichen Werte ist es möglich, mit Methoden der statistischen Auswertung Ergebnisse zu erhalten, die fast die Genauigkeit visueller Satellitenbeobachtungen erreichen. Die funktechnische Satellitenbeobachtung ist also trotz ihrer relativ geringen Genauigkeit keineswegs zu vernachlässigen und für die Bahnbestimmung von Erdsatelliten genauso notwendig wie die optische Beobachtung.

Besonders wichtig sind die funktechnischen Beobachtungen von solchen Erdsatelliten, die die Erde nur relativ kurze Zeit umkreisen, um dann zurückzukehren. Erinnert sei hier nur an die Serie der sowjetischen Raumschiffe der Jahre 1960 und 1961 und an die Flüge der beiden ersten Kosmonauten Juri Gagarin und German Titow. Hier waren es funktechnische Methoden, die eine Bestimmung der Bahnen dieser Raumschiff-Satelliten überhaupt möglich machten. Nur sehr wenige optische Beobachtungen gelangen bei diesen Satelliten.

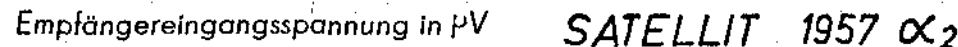
IONOSPHÄRENUNTERSUCHUNGEN DURCH RAUMFLUGKÖRPER

Ist die Bahn eines Erdsatelliten mit genügend hoher Sicherheit aus optischen und funktechnischen Beobachtungen bestimmt, dann kann man jedem Zeitpunkt der Aufnahme von Satelliten-Signalen die genaue Stellung des Satelliten in seiner Bahn zuordnen. Sind außerdem die Rotations- und Präzessionsbewegung des Satelliten bekannt, so lassen sich aus der weiteren Untersuchung der aufgenommenen Signale interessante Rückschlüsse auf den Zustand der Ionosphäre in dem betreffenden Bahnabschnitt ziehen.

Wie schon angedeutet, haben die sowjetischen Wissenschaftler bei all ihren astronautischen Unternehmungen bisher Sender mit der Frequenz von rund 20 MHz eingesetzt. Diese Frequenz reagiert am stärksten auf den Einfluß der Ionosphäre, da es sich hierbei um die Grenzfrequenz der F_2-Schicht handelt.

Während die positiv geladenen Teilchen, die Ionen, praktisch keinen Einfluß auf die Signale haben, ist die Dichte der Elektronen von starkem Einfluß. Gelingt es, die Feldstärke der einfallenden Signale zu registrieren, so lassen sich daraus auf rechnerischem Wege die Werte der Dichte der negativen Ladungsträger bestimmen. Bei der Auswertung hat es sich als sehr günstig erwiesen, daß bei vielen der sowjetischen Raumflugkörper auch gleichzeitig Signale auf 40 MHz ausgestrahlt wurden, die mehr oder weniger ungestört die Ionosphäre passieren. Die 40-MHz-Signale können deshalb sozusagen als Eichwerte herangezogen werden. Sie erfahren lediglich — abhängig vom Einfallswinkel — eine mehr oder minder starke Ablenkung.

Die Auswertung der empfangenen Feldstärkeschwankungen ist keineswegs eine einfache Aufgabe. Zahlreiche Faktoren, die sich nicht in jedem Fall rechnerisch exakt ermitteln lassen, müssen berücksichtigt werden. Der Einfluß der Ionosphäre äußert sich einmal



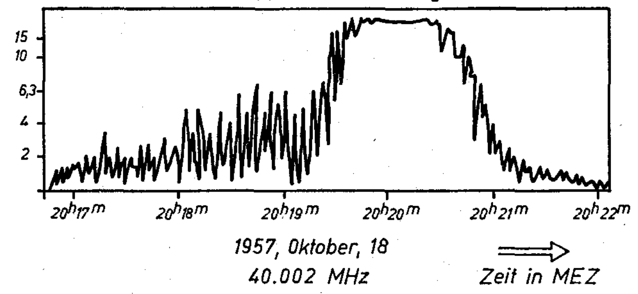


Bild 20. Feldstärkeregistrierung der Signale von Sputnik I am 18. Oktober 1957 durch den Funkamateur T. Pricks, DM 2 AKD.

in der Drehung der Polarisationsebene der vom Satelliten abgestrahlten Welle. Diese Erscheinung ist unter dem Namen Faraday-Effekt bekannt. Da die Empfangsantenne einer Satellitenbeobachtungsstation eine feststehende Polarisationsrichtung besitzt, wird sich beim Vorbeiflug eines Satelliten die Feldstärke ändern. Hierbei muß rechnerisch der Einfluß, der durch die Rotation des Satelliten entsteht, von dem durch die Wirkung der Ionosphäre bedingten Einfluß auf die Polarisationsebene getrennt werden. Auch die Präzessionsbewegung des Satelliten bewirkt eine Drehung der Antennenkeule und damit der Polarisationsrichtung der abgehenden Signale. Hat man nun den allein durch die Ionosphäre bedingten Einfluß auf die Polarisationsrichtung gefunden — er macht sich durch ein An- und Abschwellen der Feldstärke der Signale, durch sogenannte Fadings, bemerkbar —, so kann man die Anzahl der Elektronen pro Quadratmeter in der senkrechten Säule bis zur Flughöhe des Satelliten berechnen.

Von vielen Stationen wurden während verschiedener Jahres- und Tageszeiten in den unterschiedlichsten Flughöhen des Satelliten und über verschiedenen geographischen Breiten eine große Zahl derartiger Fading-Beobachtungen unternommen. Dadurch ließen sich erstmalig die tages- und jahreszeitlichen Veränderungen der Elektronendichte oberhalb des Maximums der F_2-Schicht ermitteln. Als ein Beispiel für die Ergebnisse

dienen zwei Kurven der Verteilung der Elektronenkonzentration zwischen 400 und 1200 km Höhe im Sommer 1958 und im Winter 1958/59 (siehe Bild 21). Es handelt sich hierbei um Kurven, die aus Beobachtungen am Observatorium für Ionosphärenforschung in Kühlungsborn gewonnen wurden. In dieser Forschungsstelle wurde während der gesamten Sendedauer des Sputnik III die Feldstärke der Signale gemessen. Das bemerkenswerteste Ergebnis ist die Tatsache, daß die Abnahme der Elektronenkonzentration mit der Höhe im Winter bedeutend schneller erfolgt als im Sommer. Das Maximum liegt im Winter ebenfalls höher als im Sommer.

Das Diagramm zeigt auch die schon kurz nach dem Start des ersten Sputnik gemachte Entdeckung, daß die Abnahme der Elektronendichte mit der Höhe oberhalb des Maximums bedeutend langsamer erfolgt als der Anstieg zum Maximum. In Höhen von 1200 km haben wir noch Elektronenkonzentrationen bis zu 100 000 Teilchen pro cm^3, also noch Werte, wie sie der Elektronendichte in der E-Schicht entsprechen. Der relative Anteil der ionisierten Teilchen nimmt mit der Höhe sehr stark zu. In 1200 km sind schon etwa 10 Prozent aller Teilchen ionisiert (vgl. 0,2 Prozent in der F_2-Schicht).

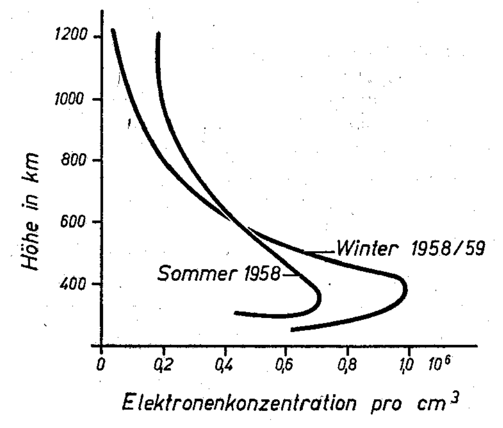


Bild 21. Elektronendichte der Hochatmosphäre, aus Beobachtungen von Sputnik III abgeleitet

Wie später aus den Messungen der positiv geladenen Teilchen durch Lunik I, II, III gezeigt werden konnte, nimmt die Teilchendichte nach außen sehr langsam ab. Unsere Erde ist noch von einer bis etwa 22 000 km Entfernung reichenden, äußerst dünnen Hülle ionisierter Teilchen umgeben. Bis zum Start des ersten Sputnik nahm man an, die Atmosphäre der Erde gehe bereits in einem Abstand von 1000 km in den interplanetaren Raum über. Auch die tageszeitlichen Veränderungen der Elektronenzahlen ließen sich aus den Feldstärkeregistrierungen deutlich nachweisen. Die Gesamtelektronenzahl pro Quadratmeter einer senkrechten Säule variiert zwischen Mittag und Mitternacht im Verhältnis von 2 : 1 (Sommer), von 3,5 : 1 (Winter).

Aber nicht nur in der Drehung der Polarisationsebene wirkt die Elektronendichte auf die Satellitensignale. Der Brechungsindex der Ionosphäre hängt ebenfalls von der Elektronenkonzentration ab. Die Satellitensignale werden sich deshalb nicht gradlinig fortbewegen, sondern mehr oder weniger gekrümmte Wege einschlagen. Das macht sich besonders beim Radioaufgang und -untergang des Satelliten bemerkbar. Es konnte oft festgestellt werden, daß die Funksignale weit über den optischen Horizont hinaus noch mit großer Lautstärke empfangen wurden. In einigen Fällen konnte sogar gezeigt werden, daß es sich um sogenannte Mehrhopausbreitungen handelt, d. h., das Satellitensignal gelangte erst nach Reflexion von der Oberfläche der Erde zur Unterkante der Ionosphäre und von dort an den Empfangsort. Einige Male wurden sogar Signale aufgefangen, wenn der Satellit sich am Antipodenpunkt der Beobachtungsstation befand. Die Signale sind vermutlich entweder in der Ionosphäre entlanggeführt und herausgebrochen worden oder haben nach mehrfacher Reflexion von der Erdoberfläche und der Ionosphärenunterkante die Empfangsstation erreicht. (Diese Erscheinung des sogenannten „Geistersputnik“ ist allerdings noch ziemlich ungeklärt.) Man kann also auch aus der Untersuchung über die Brechung des Satellitensignals in der Ionosphäre Rückschlüsse auf die Elektronendichte ziehen.

Zur Feldstärkemessung wurden meist empfindliche quarzstabilisierte Empfänger eingesetzt, wobei es sich

als zweckmäßig erwiesen hat, die Werte mit einem Schreiber von nicht zu geringem Papiervorschub oder mit einem Oszillographen photographisch zu registrieren. Bei der Frequenz von 40 MHz mußte in den meisten Fällen wegen des Dopplereffekts während eines Durchgangs bereits eine Frequenzabstimmung durchgeführt werden.

Bei der Verwendung von Peilgeräten für die Aufnahme von Satellitensignalen macht sich der Einfluß der unterschiedlich starken Brechung dieser Signale bei verschiedener Elektronenkonzentration besonders deutlich bemerkbar. Hier konnte in der Auswertung gezeigt werden, daß die Ionosphäre keineswegs ein homogenes Gebilde mit einer über größere Flächen gleichmäßigen Elektronendichte darstellt. Aus den unregelmäßigen Schwankungen der Signale bzw. ihrer Einfallsrichtung wurde nachgewiesen, daß es größere — 1000 bis 2000 km umfassende — und auch kleinere Inhomogenitätsgebiete in der Ionosphäre gibt. Die kleineren Gebiete, die in ihrer Größe 100 bis 200 km messen, machen sich in kurzzeitigen Richtungsänderungen mit Abständen von 10 bis 20 Sekunden bemerkbar. Auch sehr kurzzeitige Schwankungen von nur wenigen Zehntelsekunden Dauer konnten festgestellt werden. Sie dürften ihre Ursache in ionosphärischen Elementen von nur wenigen Kilometern Ausmaß haben.

Daß es derart kleine Gebiete unterschiedlicher Dichte in der Ionosphäre geben müsse, darauf deuteten schon bestimmte Beobachtungen der Radioastronomen hin. Genauso, wie wir am nächtlichen Himmel die Sterne durch den Einfluß der Luftbewegung flimmern sehen, stellten die Radioastronomen ein sogenanntes Szintillieren der kosmischen Radiostrahlungsquellen fest.

Bei Feldstärkeregistrierungen der 20-MHz-Signale des Sputnik III trat mitunter sogar vollständige Auslöschung der Signale für eine halbe bis eine Minute Dauer auf, die durch begrenzte Absorptions- bzw. Streuungsregionen mit erhöhter Elektronendichte in der Ionosphäre zwischen Satellit und Beobachtungsstation zustande kam.

Bei den beiden größten astronautischen Unternehmungen des Jahres 1961, dem ersten Raumflug eines Men-

schen — der Erdumkreisung Juri Gagarins — und dem 25-Stunden-Flug German Titows, hat die Funktechnik eine bedeutungsvolle Rolle gespielt, und sie wird auch bei künftigen bemannten astronautischen Unternehmungen einen nicht unwesentlichen Teil zum Gelingen beitragen. Schon nach dem Start der Trägerraketen wird auf funktechnischem Wege kontrolliert, ob diese Raketen einwandfrei funktionieren und im Brennschlußpunkt die vorgesehenen Werte von Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit erreichen. Wenn auch das Steuerungssystem der Trägerraketen autonom arbeitet, so wird doch bei auftretenden Fehlern, die von der Automatik nicht korrigiert werden oder die so groß sind, daß das automatische Steuerungssystem für die Korrektur nicht mehr ausreicht, die Möglichkeit gegeben sein, von Bodenstationen — eventuell auch auf automatischem Wege — in das Steuerungssystem einzugreifen. Beim Start, in der aktiven Phase, unterscheiden sich die bemannten Raumflüge wahrscheinlich nicht von den früheren Unternehmungen. Die nach Erreichen des Brennschlußpunktes notwendig werdende funktechnische Bahnverfolgung wurde sicher mit besonderer Genauigkeit und verfeinerter und verbesserter Apparatur durchgeführt. Da der erste Raumflug nur eine einmalige Umkreisung der Erde vorsah, waren optische Beobachtungen praktisch unmöglich. Der Start erfolgte bekanntlich kurz nach 7 Uhr Moskauer Zeit, die Flugstrecke über dem Territorium der Sowjetunion verlief also im Tageslicht. Das Raumschiff Gagarins tauchte erst in der Nähe der Südspitze von Amerika in den Erdschatten ein. Eine große Zahl von Radarbeobachtungs- und Funkpeilstationen werden das Raumschiff während seines Fluges über dem Territorium der Sowjetunion laufend vermessen haben.

Diese möglichst genaue Bahnvermessung war vor allem deswegen notwendig, weil der Raumfahrer und selbstverständlich auch die Kontrollstation sowie die Leistellen die Bahn sehr genau kennen mußten, damit das Einleiten der Rückführung sicher und richtig durchgeführt werden konnte. Nur wenn die Flughöhe und die Geschwindigkeit (ergibt sich aus den Bahnparametern) zum Zeitpunkt des Einleitens der Rückkehr genau bekannt sind, kann die Dosierung des Bremsimpulses so

erfolgen, daß das Raumschiff genau auf der vorhergesehenen Bahn in die dichteren Schichten der Atmosphäre eindringt. Abweichungen von der vorhergesehenen Bahn in der dichteren Atmosphäre könnten dazu führen, daß die Aufheizung zu groß und dadurch das Raumschiff beschädigt wird.

Die Tatsache, daß die Bahnparameter noch vor der Landung Gagarins bekannt gegeben wurden, beweist, daß die Systeme zur Vermessung der Bahn außerordentlich präzise Werte geliefert haben. Das machte schon der Start der Venussonde deutlich. Bekanntlich brachte man diese Sonde erst auf eine Satellitenbahn, und nach nicht ganz einem Umlauf um die Erde wurde die letzte Raketenstufe gezündet, die die Sonde auf die zweite astronautische Geschwindigkeit beschleunigte. Hier mußten ebenfalls während des ersten Abschnittes des Fluges auf der Satellitenbahn die Werte der Umlaufbahn mit hoher Präzision festgestellt werden. In weniger als einer dreiviertel Stunde, also bis zu dem Zeitpunkt, zu dem dieser „Satellit" wieder in die Reichweite der sowjetischen Funkstationen gelangte, mußten eventuell aufgetretene Abweichungen der tatsächlichen Satellitenbahn von der vorhergesehenen errechnet sein, mußten die neuen Werte für das Programmsteuerungssystem der die Erde umkreisenden Raketenstufe errechnet und diese neuen Werte in Form von Funkbefehlen beim Wiederauftauchen über dem funktechnischen Horizont an das Programmsteuerungssystem dieses Raketensatelliten übertragen werden. Der Start der Venussonde von der Satellitenplattform erfolgte, als sich diese über dem nordöstlichen Teil des Mittelmeeres befand, also kurz nachdem sie über dem Funkhorizont aufgetaucht war.

Eine weitere wesentliche Rolle bei den beiden ersten bemannten Raumflugunternehmungen spielten die Funkverbindung und die Sprechfunkverbindung zwischen Raumschiff und Bodenstationen. Aus der Wahl der Flugbahnparameter, vor allem der Höhe von Apogäum und Perigäum, ist deutlich zu erkennen, daß die sowjetischen Wissenschaftler bei diesen ersten beiden Testflügen von Menschen im Weltall Wert darauf legten, mit den Kosmonauten in ständiger Funk- bzw. Sprechfunkverbindung zu bleiben. In beiden Fällen lag

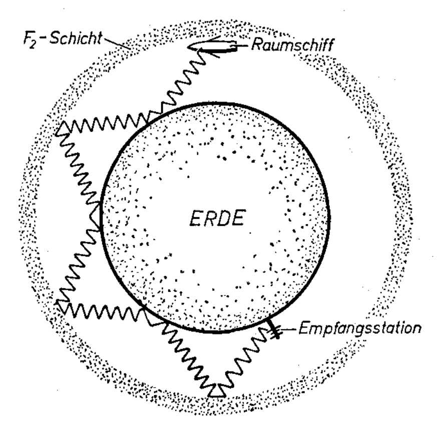


Bild 22. Schematische Darstellung der Ausbreitung von Funkwellen eines sich unterhalb des Maximums der Ionosphäre bewegenden Raumflugkörpers

praktisch die gesamte Flugbahn unterhalb des Maximums der Ionisation der F-Schicht. Wie aus Bild 22 zu ersehen ist, war es möglich, auf 20 MHz und vor allem auf der niedrigen Frequenz von rund 10 MHz jederzeit zweiseitige Funkverbindung mit Stationen auf dem Territorium der Sowjetunion zu halten. Allerdings traten auf diesen niedrigen Frequenzen ionosphärische Störungen wie im Kurzwellenfunkverkehr auf. Aus diesem Grund hatte man außerdem die Möglichkeit des zweiseitigen Funk- und Sprechfunkverkehrs auf der Frequenz von 163 MHz vorgesehen. Nur wenn sich der Satellit über dem optischen Horizont einer Empfangsstation befand, konnte auf dieser Frequenz gesendet werden. Bei einer mittleren Höhe von 250 km beträgt die Reichweite dieser UKW-Funkverbindung etwa 1200 km. Das gleiche gilt auch für die Übertragung der Fernsehbilder, bei denen naturgemäß ebenfalls eine Frequenz im UKW-Bereich notwendig war. Im Raumschiff waren zwei Fernsehkameras montiert, die das Bild des Kosmonauten in Seiten- und Vorderansicht übertrugen. Dieses System der Fernsehübertragung wurde schon erfolgreich seit der Erdumkreisung des zweiten sowjetischen Raumschiffs angewandt. Es handelt sich um das uns vom konventionellen Fernsehen her bekannte Übertragungsprinzip.

Aber auch ein anderes Bildübertragungssystem wurde in der sowjetischen Astronautik schon eingesetzt. Wir

erinnern uns an die dritte kosmische Rakete Lunik III, die automatisch die Rückseite unseres natürlichen Satelliten photographierte, in der automatisch die Bilder entwickelt, gewässert, getrocknet und schließlich auf dem Wege der Funkbildübertragung zur Erde gesendet wurden. Um die Abbildungen auf dem Negativstreifen in elektrische Größen umwandeln zu können, fand eine kleine Bildabtaströhre mit hohem Auflösungsvermögen und ein elektronisches Vergrößerungssystem mit guter Bildstabilität Verwendung. Zur Ablenkung des Strahles der Abtaströhre wurden sparsame Niederfrequenzeinrichtungen eingesetzt. Die Verstärkung der Bildsignale erfolgte mit einem stabilisierten schmalbandigen Verstärker, der mit einer Einrichtung ausgestattet war, die automatisch auf die Dichte des photographischen Negativs reagierte. Bei hoher Dichte,

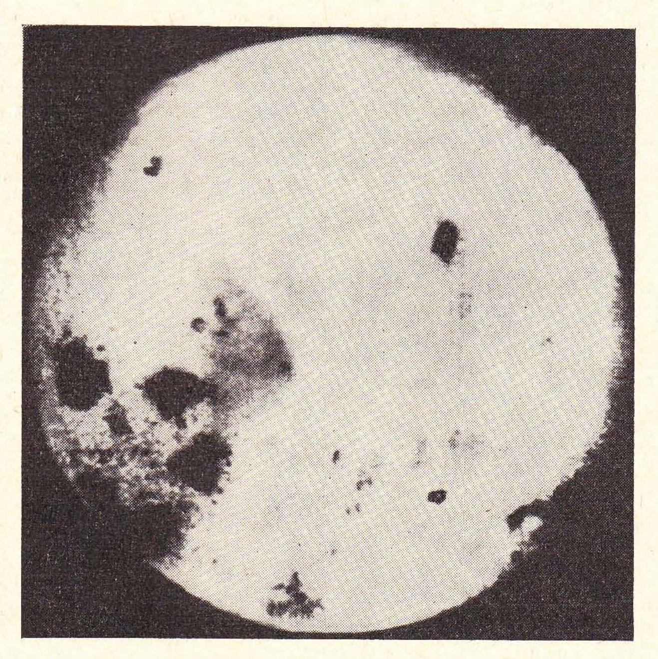


Bild 23. Von Lunik III übermitteltes Photo der Mondrückseite

also starker Schwärzung, erfolgte eine größere Verstärkung, bei geringer Dichte, also in schwach belichteten Partien, war die Bildverstärkung geringer. Die Bilder wurden zweimal übermittelt: das erste Mal aus einer Entfernung von rund 480 000 Kilometern, also in der Gegend des Apogäums, und zum zweiten Male in schnellerer Folge beim Überfliegen des Territoriums der Sowjetunion, in der Nähe des Perigäums von etwa 40 000 Kilometern. Das automatische Bildfunksystem ermöglichte es ferner, die Zahl der Zeilen, in die das Bild aufgelöst wurde, je nach den Übertragungsbedingungen automatisch zu variieren. Das größte Auflösungsvermögen betrug 1000 Zeilen je Bild.

Die Übertragung der in elektrische Werte umgesetzten Bilder erfolgte in ähnlicher Weise wie die schon beschriebene Übertragung der Meßwerte von einem Satelliten.

Obgleich bei den Flügen der Raumschiffe Wostok I und Wostok II keine Instrumente zur Untersuchung physikalischer Parameter der Hochatmosphäre eingesetzt waren, mußten doch durch das Funksystem eine große Zahl von Meßwerten übertragen werden. Das Funktionieren sämtlicher Systeme, die zur Aufrechterhaltung der Lebenstätigkeit eines Menschen in der Kabine notwendig waren, mußte überprüft werden. Ferner waren bei beiden Astronauten am Körper zahlreiche Meßfühler angebracht, mit denen die einzelnen physiologischen Daten registriert wurden. Diese Werte wurden sowohl an Bord gespeichert als auch zur Erde übertragen. Auch das Funktionieren der einzelnen Elemente des automatischen Steuerungssystems sowie die Impulse, die bei der Bedienung der Handsteuerung durch Major Titow ausgelöst wurden, mußten registriert und übertragen werden.

Nicht nur zwischen dem Astronauten und den Bodenstationen war eine zweiseitige Funkverbindung vorhanden, sondern auch zwischen der Automatik und den Bodenstationen. Schließlich bestand noch die Möglichkeit, des Steuerungssystem des Raumschiffs direkt von Bodenstationen aus zu beeinflussen, damit im Falle des Ausfalls der Steuerungsautomatik und des Astronauten das Raumschiff stabilisiert und ausgerichtet sowie die Rückkehr eingeleitet werden konnte.

Auch wenn von den Bodenstationen aus die Bahn schon recht genau bestimmt war, hatte der Astronaut selbst noch die Möglichkeit, auf funktechnischem Wege eine Bahnkontrolle auszuführen und die Position seines Raumschiffs und dessen Lage in der Bahn zu bestimmen. Einzelne Bodenstationen sendeten Peilzeichen, die vom Raumschiff empfangen werden konnten und dem Astronauten die Selbstorientierung ermöglichten.

Daß die Funktechnik bei künftigen bemannten Unternehmungen eine immer bedeutendere Rolle spielen wird, ist nach diesen kurzen Andeutungen über ihren Einsatz bei den ersten beiden bemannten Raumflügen leicht verständlich.

RÜCKBLICK UND AUSBLICK

Bei den immer größer werdenden Flugweiten astronautischer Unternehmungen im interplanetaren Raum nehmen natürlich auch die Probleme der funktechnischen Nachrichtenübermittlung und -verbindung in stärkerem Maße zu. So dürfte es beispielsweise beim heutigen Stand der Radartechnik schon Schwierigkeiten bereiten, eine zum Mond fliegende Raumsonde entlang ihres gesamten Weges zu orten. Nehmen wir als Rückstrahlquerschnitt dieser Sonde 5 m^2 an und als effektive Sendeleistung eines Radargeräts mit Parabolspiegel 10 000 kW, so ergibt sich für einen Spiegeldurchmesser von 60 m mit einer Grenzempfindlichkeit seiner Empfangsapparatur von $4 \cdot 10^{-16}$ W für eine Wellenlänge von 3 m eine Reichweite von nur 8500 km.

Verkürzt man die Wellenlänge, so kommt man zu größeren Reichweiten. Bei 0,5 m Wellenlänge beträgt sie in dem angeführten Beispiel 21 000 km und bei 0,1 m Wellenlänge 46 000 km, das sind etwas über 10 Prozent der Mondentfernung. Die Fortschritte auf dem Gebiet der Radartechnik, vor allem durch den Einsatz von neuartigen, außerordentlich rauscharmen Empfängerröhren und die Steigerung der Impulsleistung, werden auch hier günstigere Voraussetzungen schaffen. Daß die Sowjetunion auf diesem Gebiet bereits große Fortschritte gemacht hat, beweisen die kürzlich erfolgreich durchgeführten Radarpeilungen unseres Nachbarplaneten Venus über eine Distanz von über 44 Millionen Kilometer. Bei diesen Versuchen betrug die Leistung des auf die Venusoberfläche auftreffenden Signals 16 W.

Man muß daraus die Schlußfolgerung ziehen, daß die Leistungsgrenzen der sowjetischen Radartechnik weit über dem angeführten Beispiel liegen, das sich etwa auf den heutigen Höchststand in der westlichen Welt bezieht.

Eine passive Radiobeobachtung zum Mond oder zu Nachbarplaneten fliegender Raumsonden bereitet bei dem heutigen Stand der Hochfrequenztechnik keine Schwierigkeiten. Nehmen wir an, ein Raumschiff ist mit einem Empfänger der Empfindlichkeit $4 \cdot 10^{-15}$ W und einem Sender mit einer Impulsleistung von 10 kW ausgerüstet, was durchaus im Bereich der heutigen technischen Möglichkeiten liegt, dann ergibt sich für eine Antenne mit Rundstrahlcharakteristik bei einer Wellenlänge von 3 m eine Reichweite von 63 Millionen Kilometer. Bei höheren Frequenzen steigt auch hier die Reichweite, sie beträgt für 0,5 m bereits 380 Millionen und für 0,1 m sogar 1,9 Milliarden Kilometer.

Würde man im Raumschiff oder in der automatischen Sonde Richtantennen verwenden, so ergäbe sich schon bei 100 MHz eine Reichweite von über 2 Milliarden Kilometern. Bei zweiseitiger Funkverbindung ist es also schon heute möglich, jede Entfernung innerhalb unseres Planetensystems zu überbrücken.

Die bisherigen Betrachtungen über die Funkverbindung im interplanetaren Raum berücksichtigen nur die durch die Entfernung bedingte Dämpfung der elektromagnetischen Schwingungen. Sehr wenig wissen wir bisher noch über den Einfluß der von der Sonne ausgeschleuderten Plasmawolken. Diese Wolken, bestehend aus freien Elektronen und Ionen, können zu einer nicht unwesentlichen Dämpfung elektromagnetischer Strahlung führen. Die Störung des interplanetaren Funkverkehrs der Zukunft dürfte also in noch stärkerem Maße von der Sonnenaktivität abhängen als die des irdischen Kurzwellenfunkverkehrs.

Auch die Sprechfunkverbindung mit den Kosmonauten der Zukunft wird keinesfalls der telefonischen Verbindung ähneln, wie es noch bei Gagarin und Titow der Fall war, denn hier müssen wir bereits die endliche Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Wellen berücksichtigen. Schon bei einer Sprechfunkverbindung Erde—Mond müßten wir über 2 Sekunden auf die Antwort warten, bei den Verbindungen zu unseren Nachbarplaneten wären schon Strecken von 100 und mehr Millionen Kilometern zu überbrücken, was Laufzeiten der Funksignale bis zu einigen Minuten bedingt.

Nicht nur die Nachrichtenübermittlung und die Sprechfunkverbindung über interplanetare Entfernungen werden in der Astronautik der Zukunft eine Rolle spielen, sondern auch die Möglichkeit der funktechnischen Navigation. Sehr nützlich würde sich hierfür die Anbringung automatisch arbeitender „Funkfeuer" auf unseren Nachbarplaneten auswirken. Schon für den Flug zum Mond könnte ein vorher auf seiner Oberfläche abgesetzter automatischer Sender eine wirkungsvolle Unterstützung der optischen Navigationsmöglichkeiten bieten. Die funktechnischen Navigationshilfen lassen sich im Gegensatz zu den optischen Hilfsmitteln leichter für automatische Steuerungssysteme benutzen. Ein Funkfeuer auf den Planetoiden Adonis oder Vesta wird in 30 bis 40 Jahren für die Menschen ein genauso alltäglicher Begriff sein wie heute das Feuerschiff Elbe I.

Zum Abschluß seien die wichtigsten neuartigen wissenschaftlichen Erkenntnisse, die man aus der Beobachtung der Erdsatelliten und aus der Arbeit der in ihnen installierten wissenschaftlichen Instrumente erhalten hat, noch einmal kurz zusammengefaßt.

Wie schon angeführt, war es möglich, aus der funktechnischen und optischen Beobachtung die Bahnen der Erdsatelliten und ihre Veränderungen mit hoher Genauigkeit zu bestimmen. Daraus erhielt man neue Werte über die Dichte der Luft. Es konnte schließlich eindeutig nachgewiesen werden, daß die Luftdichte in 250 km Höhe etwa zehnmal so groß ist, wie man bisher annahm. In 600 km ist die Dichte um rund zwei und in 1000 km um rund vier Zehnerpotenzen größer. In Bild 24 ist die Abnahme der Luftdichte in Höhen über 200 km dargestellt. Die gestrichelte Linie gibt die bisherige Vorstellung wieder, die ausgezogene Linie die aus den Satellitenbeobachtungen abgeleiteten Werte.

Es stellte sich auch sehr bald heraus, daß die Dichte der Hochatmosphäre Schwankungen unterworfen ist, die zum Teil bis zu 10 Prozent der Dichtewerte erreichen. Diese Schwankungen, die im wesentlichen auf Temperaturänderungen zurückzuführen sind, zeigen eine rund 28tägige Periode und werden ihre Ursache wahrscheinlich in Strahlungsausbrüchen der Sonne haben (die Rotationsperiode der Sonne beträgt

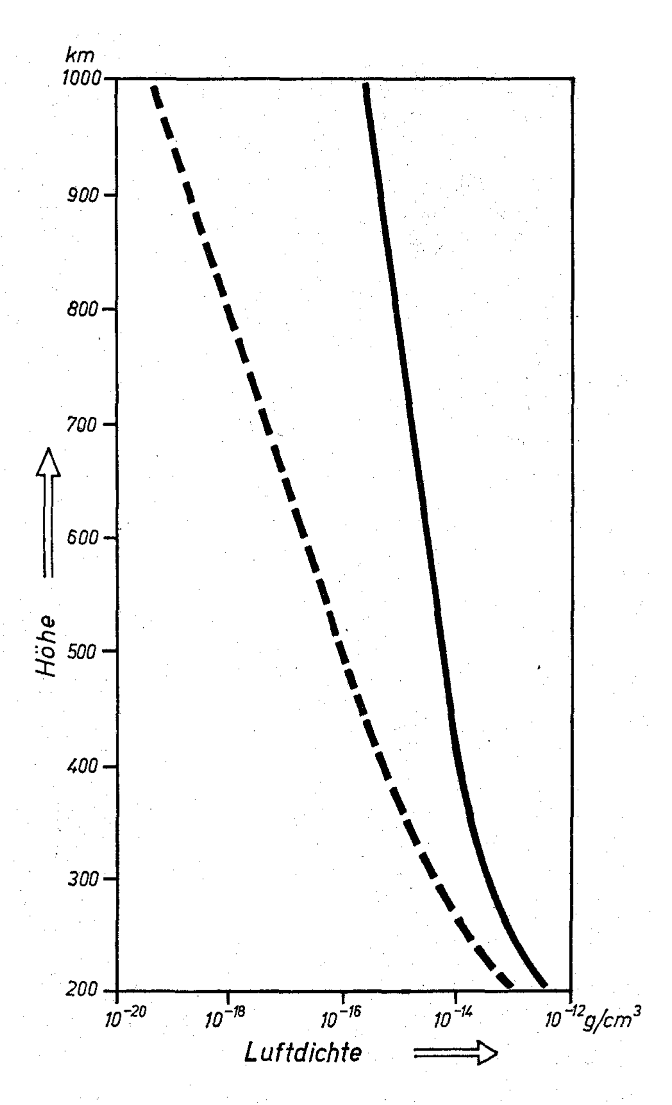


Bild 24. Aus Satellitenbeobachtungen neu bestimmte Werte der Luftdichte in großen Höhen

in höheren heliographischen Breiten etwa 28 Tage). Man konnte weiter feststellen, daß die Dichte der Hochatmosphäre über den Polen der Erde ein Maximum und über dem Äquator ein Minimum hat. Auch zwischen der Tag- und Nachtseite der Erde wurden Dichteunterschiede gefunden. Ausnahmslos ergaben sich während der Nachtzeit geringere Dichtewerte.

Die unerwartet hohen Dichtewerte der oberen Atmosphäre müssen relativ hohen Temperaturwerten entsprechen. Man errechnete, daß in 200 bis 300 km Höhe die 1000°-Grenze überschritten wird und in noch größeren Höhen die Temperatur auf Werte von 2000 bis 3000° ansteigt.

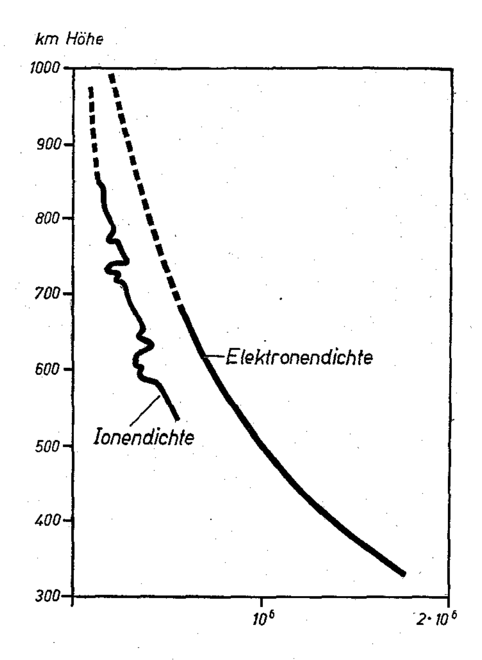
Es sei hier nur noch darauf hingewiesen, daß ein Körper, der sich in diesen Gebieten der Hochatmosphäre befindet, niemals diese Temperaturen annehmen wird, da die Dichte der Luft so gering ist, daß praktisch kein Wärmeübergang auf diesen Körper stattfinden kann.

Diese hohen Temperaturwerte besagen faktisch nur, daß mit wachsender Höhe die Geschwindigkeit, mit der sich die einzelnen Moleküle, Atome und Ionen bewegen, immer größer wird.

Im dritten sowjetischen Sputnik waren zur direkten Messung der Luftdichte ein Magnetmanometer und zwei Ionisationsmanometer vorhanden. Bis zu Höhen von 650 km gestatteten diese Instrumente direkte Messungen. Die erhaltenen Meßwerte stimmten mit den aus der Bremsung der Erdsatelliten errechneten Werten sehr gut überein. Sie liefern damit einen Beweis dafür, daß die Methode der Luftdichtebestimmung aus der Abbremsung von Erdsatelliten absolut zuverlässig ist.

Über die Ergebnisse der Ionosphärenuntersuchung wurde schon berichtet. Die wichtigste Erkenntnis war die Feststellung, daß die Ionosphäre keinen einfachen schichtförmigen Aufbau hat, sondern daß bis zum Maximum der Ionisation ein relativ steiles Anwachsen der Elektronenkonzentration mit einzelnen Nebenmaxima aufweist und über dem Maximum der Ionisation die Elektronendichte bedeutend langsamer zurückgeht. Die einzelnen Nebenmaxima entsprechen den früher angenommenen Schichten.

Bild 25. Elektronen- und Ionendichte oberhalb des Maximums der Ionosphäre nach Messungen von Sputnik III



Da die positiven Teilchen der Ionosphäre, die Ionen, sich nicht auf die Ausbreitung der Funkwellen auswirken, war zu ihrer Untersuchung der Einsatz von besonderen Meßgeräten notwendig. Mit den sogenannten Kugelgitter-Ionenfallen des dritten Sputnik wurden erstmals Messungen der Dichte der positiven Teilchen ausgeführt. Bild 25 zeigt eine mittlere Kurve der Elektronendichte und die Dichte der positiven Ionen nach Messungen von Sputnik III.

Mit den sogenannten Protonenfallen der drei 1959 gestarteten sowjetischen kosmischen Raketen wurden in größerer Entfernung von der Erde Messungen der Dichte der positiv geladenen Teilchen ausgeführt. Bis zu einer Entfernung von rund 22 000 Kilometern konnten noch Teilchen registriert werden. Unsere Erde wird von einer sehr ausgedehnten Hülle ionisierten Gases umgeben. Sehr wahrscheinlich handelt es sich hierbei um ionisiertes Wasserstoffgas, also um freie Elektronen

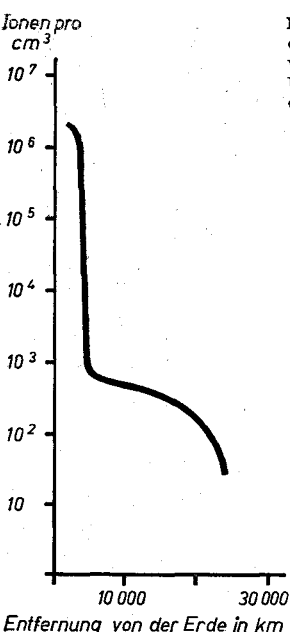


Bild 26. Meßwerte der Ionendichte in großer Entfernung von der Erde nach den Untersuchungen durch die drei Luniks

und Protonen. Die ebenfalls durch Erdsatelliten erfolgte Feststellung, daß in 400 bis 500 km Höhe schon ein beträchtlicher Anteil des Gases der Hochatmosphäre von Wasserstoff gebildet wird, deutet zumindest darauf hin. Diese äußerste Hülle nennt man in Anlehnung an die gleiche Erscheinung bei der Sonne „Erdkorona".

Die interessanteste Entdeckung, die durch die Erdsatelliten gemacht wurde, ist die Feststellung der Strahlungsgürtel der Erde. Erste Andeutungen über die Existenz des äußeren Gürtels lieferten die beiden in Sputnik II installierten Geigerzähler, wenn der Erdtrabant hohe geographische Breiten überflog. Der innere Strahlungsgürtel war durch die ersten amerikanischen Satelliten festgestellt worden, aber erst durch Sputnik III gelangte die Wissenschaft in den Besitz von Informationen über die Natur dieses Strahlungsgürtels. Die umfangreiche Instrumentierung dieses Satelliten

machte es möglich, ein qualitatives Bild von dem inneren und äußeren Strahlungsgürtel zu erhalten. Es sei erwähnt, daß der innere Strahlungsgürtel, der im wesentlichen nur in den Gebieten zwischen 35° nördlicher und südlicher geomagnetischer Breite auftritt und von etwa 1000 – 1500 km Höhe fast bis zu 10 000 km Abstand reicht, aus sehr energiereichen Protonen besteht. Ein Aufenthalt in diesem Gürtel oder schon ein Durchfliegen mit einem bemannten Raumschiff könnte – wenn kein besonderer Schutz vorhanden ist – zu schweren gesundheitlichen Schäden für die Besatzung führen. Über den äußeren Strahlungsgürtel, zumindest über seine erdnahen Teile, die zwischen dem 55. und 75. Breitengrad bis in dichtere Schichten der Atmosphäre reichen, konnten die sowjetischen Wissenschaftler nach Auswertung der Meßergebnisse von Sputnik III bereits aussagen, daß er relativ ungefährlich ist. Er besteht im wesentlichen aus schnell bewegten Elektronen, die beim Auftreffen auf die Außenhaut eines Raumflugkörpers eine harte Röntgenstrahlung erzeugen, die dem menschlichen Organismus nicht schadet.

Über das Magnetfeld unserer Erde, seine Variationen und seine Anomalien erhielt die Wissenschaft schon durch den dritten Sputnik interessante Meßwerte, die durch die Untersuchungen mit den drei kosmischen Raketen bis auf einen Bereich von zehn Erdradien ausgedehnt werden konnten.

Angedeutet sei nur noch, daß durch die sowjetischen Sputniks, kosmischen Raketen und Raumschiffsatelliten neben den eben erwähnten Untersuchungen noch zahlreiche andere Messungen ausgeführt wurden, wie beispielsweise Messungen der Intensität der ultravioletten und Röntgenstrahlung der Sonne, weitere detaillierte Erforschung der kosmischen Strahlung, Untersuchungen über die Häufigkeit und Energie von Mikrometeoriten und schließlich die zahlreichen biologisch-medizinischen Untersuchungen und Experimente, die ihre Krönung in den Raumflügen von Gagarin und Titow fanden.

Alle diese interessanten neuen Erkenntnisse erhielt die Wissenschaft durch den Empfang der Funksignale der künstlichen Erdsatelliten. Auch wenn in naher Zukunft der Mensch selbst wissenschaftliche Untersuchungen in

der Hochatmosphäre, im interplanetaren Raum und schließlich auf der Oberfläche des Mondes und der Nachbarplaneten ausführt, so wird doch weiterhin die funktechnische Übertragung eine immer mehr an Bedeutung gewinnende Rolle spielen, und die funktechnische Beobachtung von Raumflugkörpern wird auch in der Zukunft genauso wichtig und notwendig sein wie in der Vergangenheit.

FUNKAMATEUR

UND

SATELLITENBEOBACHTUNG

Mancher Funkamateur mag sich nun die Frage stellen, ob er mit seinen Empfangsgeräten nicht auch funktechnische Satellitenbeobachtungen ausführen kann, die wissenschaftlich wertvoll sind. Der eine oder andere wird aber vielleicht von vornherein verzagen und meinen: Was kann ich denn mit meiner kleinen Empfangsapparatur schon Nützliches leisten, wenn es große, mit den modernsten Mitteln der Elektronik ausgerüstete funktechnische Stationen gibt, die bedeutend empfindlichere Empfänger besitzen, die mit den modernsten Mitteln der Meßwertaufzeichnung ausgerüstet sind und die die Signale von Raumflugkörpern mit einer sehr hohen Meßgenauigkeit registrieren können?

Dazu wäre zu sagen, daß der Funkamateur mit seiner meist relativ bescheidenen instrumentellen Ausrüstung selbstverständlich nicht mit funktechnischen Laboratorien konkurrieren soll. Bei den Amateurastronomen ist der Ausspruch bekannt: „Jedes Fernrohr hat seinen Himmel!“ Verglichen mit den modernen Riesenteleskopen mutet ja auch das kleine Fernrohr eines Amateurastronomen, das mitunter auf einem Fensterbrett Platz findet, an, wie eine Pico-Eisenbahn neben einem D-Zug. Trotzdem leisteten und leisten die Amateurastronomen in der ganzen Welt noch heute Arbeiten, die für Fachastronomen wertvoll sind. Warum sollte dann nicht auch die Empfangsapparatur eines Amateurfunkers sinnvoll für bestimmte funktechnische Satellitenbeobachtungen eingesetzt werden können.

Einige wichtige Voraussetzungen müssen allerdings erfüllt sein, wenn sich ein Funkamateur dazu entschließt, an der Satellitenbeobachtung teilzunehmen.

Ein Netz von Amateurbeobachtungsstationen ist für die wissenschaftliche Auswertung von außerordentlichem Wert, da die Beobachtungsdichte wesentlich erhöht wird

und Gebiete erfaßt werden, in denen wissenschaftliche Institute nicht vorhanden sind. Unerläßlich ist jedoch, daß sich der Amateur für den Standort seiner Beobachtungsstation die genauen Koordinaten (geographische Länge und Breite) vom Katasteramt beschafft oder mittels Meßtischblatt selbst ermittelt.

Die Messungen, die er ausführt, oder die Feststellungen, die er trifft, müssen den höchstmöglichen Grad an Zuverlässigkeit aufweisen. An Meßwerten oder festgestellten Erscheinungen darf nicht das Geringste „frisiert" werden, auch wenn die Feststellungen mitunter widersinnig erscheinen oder dem Erfahrungswert widersprechen. Der Beobachter muß weiterhin bestrebt sein, ein Optimum an Genauigkeit zu erreichen. Das bezieht sich auch auf die Zeitangaben. Die Sekunde sollte nach Möglichkeit immer gesichert sein. Selbstverständlich muß er auch darum bemüht sein, die apparativ gegebene Empfindlichkeit seines Empfangsgerätes maximal auszunutzen. Seine Beobachtungen sollten ferner eine gewisse Kontinuität entsprechend der Lebensdauer der Funksignale eines Raumflugkörpers aufweisen. Sporadische Beobachtungen mit unregelmäßigen Abständen von Wochen oder Monaten sind so gut wie wertlos. Die funktechnische Beobachtung verlangt also ein nicht unbeträchtliches Opfer an Freizeit, was aber der Funkamateur für sein Hobby von vornherein schon zu bringen bereit ist.

Unter diesen Voraussetzungen lassen sich auch mit geringen technischen Hilfsmitteln brauchbare Ergebnisse erzielen.

Besitzt der Funkamateur einen einigermaßen frequenzstabilen Kurzwellenempfänger mit einer Empfindlichkeit von wenigen µV/m, so wird es ihm zumindest möglich sein, Signale von nicht zu hoch fliegenden Erdsatelliten bei einem sehr nahen Vorübergang zu hören. Es ist anzunehmen, daß die sowjetischen Satelliten der Zukunft ebenfalls wieder auf Frequenzen um 20 MHz senden. Diese Frequenz liegt im Bereich der bei Funkamateuren meist vorhandenen Empfangsapparaturen.

Hat der Amateur keine Aufzeichnungsmöglichkeit, so sollte er bestrebt sein, den Zeitpunkt des Radioaufgangs und des Radiountergangs des Satelliten möglichst ge-

nau zu erfassen. Auch die Zeit der größten Lautstärke der Signale und das Auftreten von Fadings sollte er notieren. Ist kurz nach dem Start eines Satelliten noch nicht bekannt, wann dieser bestimmte Gebiete überfliegt, so besteht für den Funkamateur noch die Möglichkeit, auf der vorher geeichten Skala die Satellitenfrequenz einzustellen und zu warten, bis der Satellit in den Empfangsbereich seiner Apparatur gelangt. Aus der Umlaufzeit läßt sich dann errechnen, wann der Satellit wieder zu hören sein könnte. Dabei ist zu bedenken, daß ein Sputnik oder Raumschiff nach einem Umlauf ein Gebiet überfliegt, das in der geographischen Länge etwa 20° weiter westlich liegt; 65° Neigung und eine Bahnhöhe ähnlich der der Sputniks und Raumschiff-Satelliten vorausgesetzt.

Besitzt der Amateur ein Tonbandgerät, so wird er selbstverständlich die Signale aufnehmen, wobei das Aufbringen von Zeitmarken nicht vergessen werden darf. Bei der Aufnahme sollte immer die größtmögliche Bandgeschwindigkeit gewählt werden. Die Stunde, den Tag und das Jahr wird man am zweckmäßigsten aufsprechen. Zur Zeitablesung genügt eine genau gehende Taschenuhr oder eine gute Armbanduhr mit großem Sekundenzeiger. Diese Uhr muß aber dauernd unter Kontrolle gehalten werden. Das kann durch das Zeitzeichen des Rundfunks geschehen. Der Amateur hat ferner die Möglichkeit, die von den Quarzuhren des geodätischen Instituts Potsdam über den Sender Nauen auf der Frequenz von 4,5 MHz ausgestrahlten Sekundenimpulse zu empfangen. Die vollen Minuten werden bei diesen Signalen durch einen Dauerton angezeigt (1 Sekunde). Auf eine Uhr läßt sich ganz verzichten, wenn man die den Sekundenimpulsen zugehörige Minute der telefonischen Zeitansage entnimmt; allerdings reicht die Genauigkeit dieser Zeitansage nicht aus, die Sekunde sicher zu erfassen.

Diese primitiv anmutende einfache Feststellung der Hörbarkeit von Signalen hat bereits einen gewissen Informationsgehalt und kann zur statistischen Auswertung ohne weiteres mit herangezogen werden. Auf Band aufgenommene Signale sind natürlich wertvoller, da sie sich anschließend auswerten und daraus quantitative Meßwerte über die Feldstärke gewinnen lassen.

Besitzt der Funkamateur ein Schreibgerät, so kann die Feldstärke des einfallenden Signals direkt aufgezeichnet werden. Man wähle auch hier keinen allzu kleinen Papiervorschub.

Noch wertvoller sind selbstverständlich Messungen des Dopplereffekts beim Vorbeigang eines Satelliten. Da hier der apparaturmäßige Aufwand schon beträchtlich ist und wohl meist die dem Funkamateur gegebenen Möglichkeiten übertrifft, sei auf ein näheres Eingehen verzichtet. Das Prinzip dieser Methodik ist bereits auf den Seiten 30 ff. behandelt.

Der interessierte Amateurfunker sei bei diesem Problem auf folgende Literatur verwiesen:

Ceplecha, Zd.: The Computation of Sputnik's Orbit Independent of time Data, Bulletin of the Astronomical Institutes of Czechoslovakia, Vol. 10 (1959), 2, S. 41 und 42

Erebik, F. u. E. Vokalová: Radio Signals From the Artificial Satellite, Bulletin of the Astronomical Institutes of Czechoslovakia, Vol. 10 (1959), S. 43—45

Kaminski, H.: Radio-Beobachtungen des Satelliten 1957 α_2 auf der Volkssternwarte Bochum, Die Sterne, 34 (1958), 9—10, S. 201—203

Knuth, R. und D. Meyenburg: Funkbeobachtung von Erdsatelliten, radio und fernsehen, 9 (1960) 23, S. 748 bis 751

Priester, W., K. C. Brennewitz und P. Lengrüßer: Radiobeobachtungen des ersten künstlichen Erdsatelliten, Die Sterne, 34 (1958) 3—4, S. 64—69

Wanie, G. und K. H. Schmidt: Dopplereffektmessungen und Bahnbestimmung von Sputnik 3, Wissenschaftliche Zeitschrift der Friedrich-Schiller-Universität Jena, 8 (1958/59) 2—3, S. 241—246

...: Radio Observation of the Satellite 1958, Delta 2, Bulletin of the Astronomical Institutes of Czechoslovakia, Vol. 10 (1959) 5, S. 165—171

Bereits die ersten von der Sowjetunion gestarteten Satelliten riefen viele Amateure auf den Plan, die mit Hingabe, Ausdauer und unter Ausnutzung ihres ge-

samten Geräteparks zahlreiche Einzelbeobachtungen durchführten, ganze Meßreihen ermittelten und dem Auswertezentrum in Moskau in Form von Tabellen, graphischen Darstellungen und als Tonbandaufnahmen zur Verfügung stellten. Wie bereits während der Pionierzeit der Funktechnik sind damit auch heute noch Amateure unmittelbar an der Weiterentwicklung von Wissenschaft und Technik im Dienste des Friedens beteiligt.

Wenn diese wenigen Zeilen über die amateurmäßige funktechnische Satellitenbeobachtung einen kleinen Widerhall finden würden, hätten sie ihren Zweck erfüllt. Ernsthafte Interessenten können sich an das Präsidium der Deutschen Astronautischen Gesellschaft, Berlin C 2, Littenstraße 106—107, wenden.

EIN EINFACHER KONVERTER FÜR DIE FREQUENZBEREICHE UM 20 UND 40 MHz

Die meisten Funkamateure verfügen über selbstgebaute Spezial-Kurzwellenempfänger, die lediglich die Aufnahme der für den Amateurfunkverkehr zugelassenen schmalen Frequenzbereiche erlauben. Um die auf etwa 20 MHz arbeitenden Satellitensender aufnehmen zu können, müßte entweder ein am Empfangsgerät noch unbenutzter Bereich (wie es bei sechsteiligen Spulenrevolvern häufig der Fall ist) für diesen Zweck vorgesehen oder ein Vorsatzgerät gebaut werden, das die empfangenen Signale auf eine am Empfänger einstellbare Frequenz umsetzt.

Für den ersten Fall lassen sich Dimensionierungsangaben nur schwer machen, da die Gegebenheiten sehr unterschiedlich sind. Die Bemessung der Schwingkreisdaten hängt zu sehr von den im Gerät bereits vorhandenen Einzelteilen wie Drehkondensator, Wellenbereichumschaltung, Bandspreizung, Zwischenfrequenz usw. ab. Sofern die Schaltungseinzelheiten für das 21-MHz-Amateurband bekannt sind, ist der Aufbau des gewünschten 20-MHz-Bereichs allerdings einfach. Es werden die gleichen Schwingkreisbauteile vorgesehen und lediglich kleine keramische Kondensatoren den Spulen der Abstimmkreise parallelgeschaltet. Diese Kondensatoren müssen eine Kapazität von etwa 10 Prozent der gesamten Schwingkreiskapazität haben. Für den Fall, daß Drehko-, Parallel- und Schaltkapazitäten im 21-MHz-Band 100 pF betragen, müssen etwa 10 pF parallelgeschaltet werden.

Wenn man ohne Schwierigkeiten an die Schwingungskreise des 14-m-Amateurbandes seines Empfängers herankommt, wäre auch die Einlötung der Zusatzkapazitäten zu gegebener Zeit möglich, wodurch allerdings für die Zeit der Satellitenbeobachtung auf das Amateurband verzichtet werden muß. Auch können Nachstellungen des Abgleichs erforderlich werden.

Mit guten Rundfunkgeräten ist der Empfang der Signale der Sputniki auch schon gelungen. Infolge der zu geringen Bandspreizung und der damit verbundenen groben Einstellmöglichkeit, kann mit sicheren Ergebnissen jedoch nicht gerechnet werden. Diese Empfangserfolge sind mehr oder weniger Zufälligkeiten und für die Auswertung praktisch wertlos. Hinzu kommt die mangelnde Trennschärfe der Rundfunkempfänger. Die Sputnikzeichen werden deshalb von starken, frequenzbenachbarten kommerziellen Funkstationen überlagert, zeitweise sogar ganz überdeckt. Objektive Feldstärkebeurteilungen sind nicht möglich. Sie hängen allzusehr vom akustischen Eindruck ab, der noch dazu durch den bei größeren Feldstärken einsetzenden Schwundausgleich verfälscht wird.

Da sich der Bau eines speziellen Empfängers für die Aufnahme der Satellitensignale aus ökonomischen Gründen für den Amateur nicht lohnt, dürfte die brauchbarste Lösung der Bau eines Konverters sein, der dem vorhandenen Kurzwellen- oder Rundfunkempfänger vorgeschaltet wird. Dieser Vorsetzer muß empfindlich, mechanisch und elektrisch sehr stabil sein und ein besonders günstiges Signal-Rausch-Verhältnis aufweisen. Weitere Forderungen sind stark untersetzte Abstimmung sowie weitgehende Bandspreizung, die eine Einstellung auf Frequenzen von nur etwa 19,8 bis 20,2 MHz zuläßt. Dabei wird stillschweigend vorausgesetzt, daß auch das weitere Satellitenprogramm der Sowjetunion die Frequenzen um 20 MHz vorsieht.

Die Frequenzumsetzung im Konverter muß nun auf eine Frequenz erfolgen, die im Nachschaltempfänger sicher und reproduzierbar eingestellt werden kann und die weitgehend frei von starken kommerziellen Funkstationen ist. Beim Rundfunkempfänger ist das das Ende des Mittelwellenbereichs, also etwa 1610 bis 1630 kHz. Die Einstellung auf eine Frequenz im Kurzwellenbereich, z. B. 6 MHz oder 10 MHz, würde zwar eine Verbesserung der Spiegelfrequenzsicherheit mit sich bringen und bei 10 MHz die Möglichkeit eröffnen, durch eine sehr einfache Umschaltung im Konverter auch die 40-MHz-Signale der Satelliten aufzunehmen, empfiehlt sich aber wegen der unzureichenden Stabilität des Kurzwellenbereichs gewöhnlicher Rundfunk-

empfänger nicht. Günstiger liegen die Verhältnisse, wenn ein stabiler Amateurkurzwellenempfänger oder ein kommerzielles Gerät (Allwellenempfänger Dabendorf, AQST, KST, KWEa oder ähnliches) vorhanden ist.

Die in Bild 27 dargestellte Schaltung eines Konverters eignet sich sowohl für einen Rundfunk- als auch für einen Spezialempfänger. Der Vorsetzer besteht aus einer Kaskodestufe (ECC 84), die bei etwa 5- bis 10facher Verstärkung eine vorzügliche Rauschfreiheit garantiert und einer additiven Misch- und Oszillatorstufe (2 x ECC 92 oder 1 x ECC 85). Die additive Mischung in einer Triode trägt ebenfalls entscheidend zu rauschfreiem Empfang bei. Die Kreise L_2, C_1; L_4, C_5 werden auf die Empfangsfrequenz abgestimmt. In Anbetracht der geringen notwendigen Bandbreite kann der Eingangskreis einmal fest auf Bandmitte abgestimmt werden. Bei der hohen Frequenz von 20 MHz liegt er verhältnismäßig breit, zumal er von der Antenne gedämpft wird. Es genügt also ein Zweifach-Drehko, mit dessen Hilfe der Oszillator- und der Zwischenkreis abgestimmt werden. Für die Schwingkreise kommt eine gesamte Kreiskapazität von etwa 50 bis 100 pF in Betracht. Wählt man eine Endkapazität von 70 pF, muß $\Delta C = 1:1{,}04$ entsprechend 67,3 bis 70 pF betragen. Für C_5/C_8 wird man einen UKW-Drehko wählen. Diese Kondensatoren haben gewöhnlich eine Kapazitätsvariation von etwa 4 bis 14 pF. Um auf den gewünschten kleineren Abstimmbereich zu kommen, müssen Verkürzungskondensatoren vorgesehen werden. Diese Aufgabe übernehmen die Kondensatoren C_{13} bis C_{15} und C_{16} bis C_{18}; es sind unbedingt die unter dem Schaltbild angegebenen Typen zu verwenden. Sie wurden so ausgewählt, daß der frequenzbestimmende Oszillatorkreis ausreichend temperaturkompensiert ist. Wird der mechanische Aufbau sorgfältig und stabil ausgeführt, dann kann man sich auch über einen längeren Zeitraum hinweg auf die einmal vorgenommene Skaleneichung verlassen. Für die Spulen L_1 bis L_6 nimmt man Stiefelkörper aus Polystyrol von 10 mm Durchmesser mit Kurzwelleneisenkern. Bei etwa 10 mm Wicklungslänge sind für L_2, L_4 9 Windungen Draht 0,7 CuLSS und für L_6 etwa 8 Windungen erforderlich. L_1 erhält 3 Windungen, L_3 und L_5 etwa 5 Windungen Draht 0,2 CuLSS.

Während L_1 und L_3 mit etwa 1 mm Abstand neben L_2 bzw. L_4 gewickelt werden, muß L_5 unter Zwischenlage von Styroflexfolie über das kalte Ende von L_6 gelegt

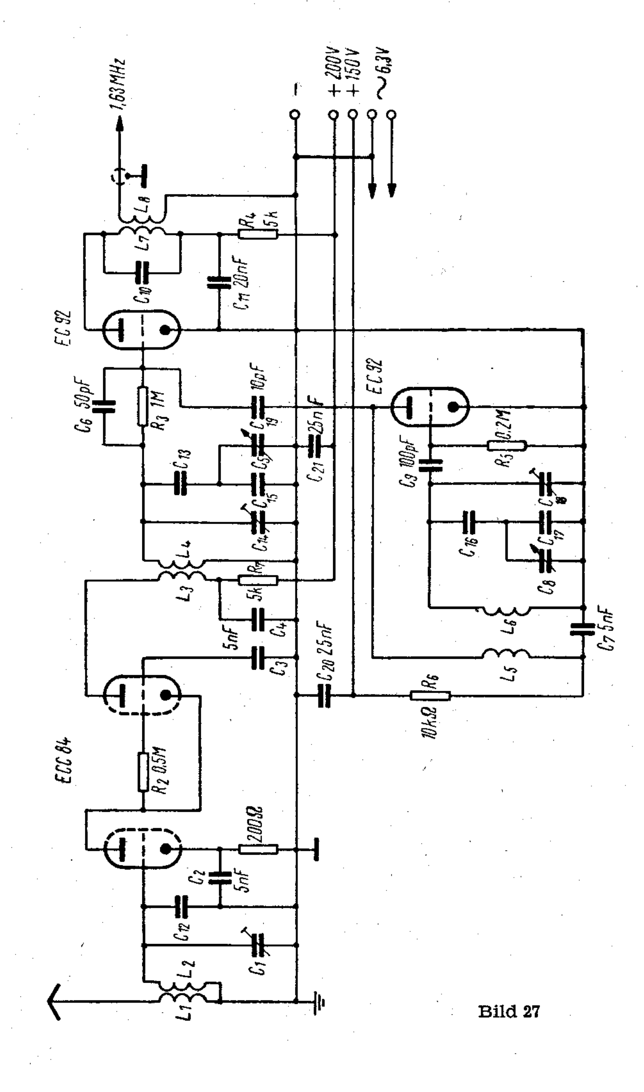


Bild 27

werden. Für L_7, L_8 wählt man einen Kammerkörper oder einen Topfkern. Wird ein Görler-Sperrkreiskörper mit Schraubkern verwendet, dann erhält L_7 80 Windungen 20 x 0,05 in 3 Kammern gleichmäßig verteilt. L_8 kommt mit 10 Windungen 0,2 CuLSS in die 4. Kammer. Die angegebenen Schwingkreisdaten für den Oszillator- und den Ausgangskreis gelten natürlich nur für den Fall, daß mit einer Ausgangsfrequenz zwischen 1600 und 1630 kHz gearbeitet wird, auf die der nachgeschaltete Empfänger einzustellen ist.

Soll als Ausgangsfrequenz 10 MHz verwendet werden, so muß der Oszillatorkreis auf 20 MHz + 10 MHz = 30 MHz schwingen. Dann ergeben sich für

C_{16} = 20 pF
C_{17} = 30 pF
C_{18} = Trimmer Ko 2496
L_6 = 0,7 µH, 8 Windungen 0,7 CuLSS
L_5 = 4 Windungen
L_7 = 5 µH, Stiefelkörper, 25 Windungen 0,3 CuLLS
L_8 = 8 Windungen neben L_7
C_{10} = 40 pF (Tempa S, DIN 41371).

Bei Verwendung der Ausgangsfrequenz von 10 MHz kann ohne Umschaltung des Oszillators auch der Bereich um 40 MHz empfangen werden. Zu diesem Zwecke macht man die Spulen L_1, L_2 und L_3, L_4 austauschbar. Das kann leicht dadurch geschehen, daß die Spulenkörper auf alte Röhrenfüße mit Stiftsockel montiert werden. L_2 und L_4 bestehen aus 6 Windungen 1,2 mm starkem, möglichst versilbertem Kupferdraht. Die Spulenlänge soll 14 mm, ihr Innendurchmesser 10 mm betragen. L_1 und L_3 erhalten je 4 Windungen. Ein Eisenkern wird nicht vorgesehen. Der Abgleich erfolgt mittels C_1, C_{18} und durch mehr oder weniger starkes Auseinanderziehen der Wicklungen.

Die Skaleneichung des 40-MHz-Bereichs ist der der 20-MHz-Eichung gegenläufig, da die Ausgangsfrequenz einmal aus der Differenz, zum anderen aus der Summe von Eingangs- und Oszillatorfrequenz gebildet wird.

Die Gesamtverstärkung des Vorsetzers ist auf 20 MHz etwa 50fach und im 40-MHz-Bereich ungefähr 30fach, wodurch in Verbindung mit nachgeschaltetem Superhet

eine Empfindlichkeit von weniger als 0,5 µV/m erreicht wird.

Der Aufbau muß sehr stabil auf mindestens 1,5-mm-Eisen- oder 2-mm-Alublech mit 3 mm starker, durch Winkel gestützte Aluminiumfrontplatte erfolgen. Für den Skalenantrieb eignet sich ein Schnurzug mit 6-mm-Antriebsachse und einem Skalenrad mit etwa 100 mm Durchmesser sehr gut. Die Untersetzung beträgt dann etwa 8 zu 1. Jede Knopfumdrehung verändert die Abstimmfrequenz um ungefähr 50 kHz.

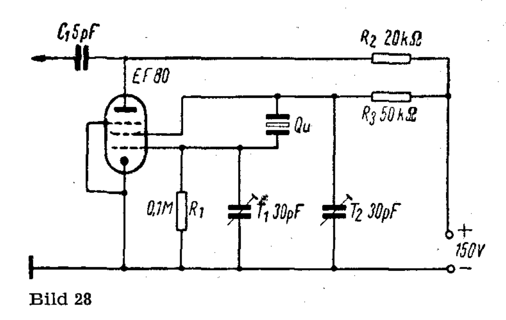


Bild 28

Die Skala des Geräts muß natürlich einmal mit Hilfe eines guten Frequenzmessers, den man sicher in einem Radioklub der GST benutzen darf, geeicht werden. Sehr zweckmäßig ist es, wenn man sich einen Schwingquarz besorgt, dessen Grund- oder Oberschwingung in unseren 20-MHz-Bereich fällt. Damit besteht jederzeit die Möglichkeit, an Hand einer Eichmarke die Skaleneichung zu überprüfen. Ein solches Eichnormal hat schon deshalb besonderen Wert, weil die exakte Einstellung des nachgeschalteten Empfängers ja nicht immer gewährleistet ist. Besitzt man ein Eichnormal, so kann man die Konverterskala auf die Eichmarke einstellen und den nachgeschalteten Empfänger auf das Eichsignal abstimmen. Bild 28 zeigt eine Quarz-Oszillatorschaltung. Es lassen sich alle Quarze verwenden, deren Frequenz durch Vervielfachung mit einer ganzen Zahl in das 20-MHz-Band fallen; also z. B. 5 MHz; 4 MHz, 2,5 MHz, aber auch 6,67 MHz; 3,99 MHz; 4,97 MHz usw. Mit Hilfe der im Schaltbild angegebenen Kondensatoren T1 und T2 ist es möglich, die Schwingfrequenz

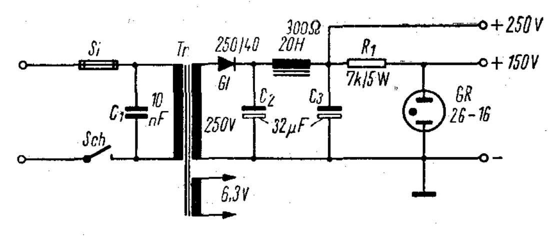


Bild 29

des Quarzes in geringem Maße zu beeinflussen, womit auf einen genauen vorgegebenen Wert eingestellt werden kann. Als Eichnormalien können die Sender Nauen auf 4,5 MHz; WWV auf 5; 10; 15; 20; 25 MHz; MSF auf 2,5 MHz oder CHU auf 3,3; 7,335 bzw. 14,67 MHz herangezogen werden. Diese Eichsender strahlen außerdem Zeitsignale höchster Genauigkeit aus.

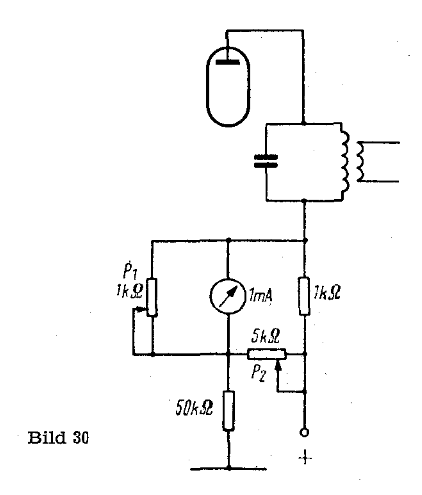


Bild 30

Für die Stromversorgung des Vorsetzers und des Eichgenerators wird man am besten einen kleinen Netztrafo vorsehen, der zusammen mit dem Gleichrichter und den Siebmitteln auf das Vorsetzerchassis montiert wird. Man braucht nur 6,3 V; 1 A für die Heizung, 200 bis 250 V; 20 mA und 150 V (stabilisiert); 10 mA für die

Anoden der Röhren. Bild 29 zeigt eine Netzteilschaltung, die natürlich in bekannter Weise abgewandelt werden kann.

Moderne Amateur-Kurzwellenempfänger verfügen über einen Feldstärkemesser (ein sogenanntes S-Meter), der für die quantitative Beurteilung der Sputniksignale sehr wertvoll ist. Eine solche Meßeinrichtung kann in fast jedem Superhetempfänger nachträglich eingebaut werden. Dazu wird entsprechend Bild 30 die Anodenleitung einer geregelten Röhre aufgetrennt und eine Brückenschaltung mit einem Meßinstrument eingefügt. Mit dem Einstellregler P 1 wird der Endausschlag begrenzt. Der Regler P 2 dient zur Nulleinstellung des Instruments bei abgeschalteter Antenne.

Empfohlen wird eine Feldstärken-Meßschaltung nach Bild 31, für die eine besondere Röhre (ECC 81 oder ECC 85) notwendig ist. Die Schaltung stellt ein kompensiertes Röhrenvoltmeter dar. Das Gitter der linken Triode wird über R_1 an die Schwundregelleitung bzw. die Steuerleitung zum evtl. vorhandenen magischen Auge angeschlossen.

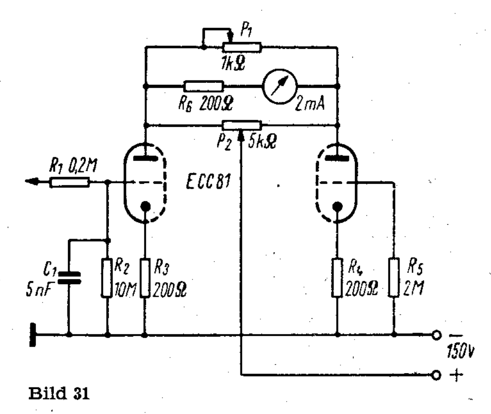


Bild 31

Steht ein Meßsender mit exakt einstellbarer Ausgangsspannung zur Verfügung, dann kann das S-Meter eine Eichung in Feldstärkeeinheiten erhalten.

So ausgerüstet wird der Amateur brauchbare Meßwerte der Auswertung zur Verfügung stellen können.

LITERATURHINWEISE

1. H.-J. Fischer: Reichweiten von Nachrichten- und Funkortungsverbindungen im interplanetarischen Raum, radio und fernsehen 8 (1959) 13, S. 419 und 420
2. Lange, Heinz: Nachrichtenverbindung zwischen Raumschiff und Erde, radio und fernsehen 8 (1959) 13, S. 421–422
3. Mielke, Heinz: Künstliche Satelliten, Raumraketen, Verlag des Ministeriums für Nationale Verteidigung, Berlin 1960
4. dgl.: Raketentechnik — Eine Einführung —, VEB Verlag Technik, Berlin 1959
5. Neumann, Karl-Heinz: Einige Ergebnisse sowjetischer Raketen- und Satellitenflüge, Weltraumfahrt 1 (1961) S. 2–12
6. dgl.: Wissenschaftliche Ergebnisse der Flüge sowjetischer Satelliten und kosmischer Raketen, Deutsche Flugtechnik 5 (1961) 4, S. 136–141
7. Schmelovsky, K. H., Klinker, L. und Kruth, R.: Über die Elektronenkonzentration der äußeren Ionosphäre nach Untersuchungen des Faraday-Fadings am Satelliten 1958 δ_2 S. 2, Beitr. Geophys. 68 (1959) 6, S. 231–314
8. Waldmeier, M.: Ergebnisse und Probleme der Sonnenforschung, 2. Auflage, Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Porting K.-G., Leipzig 1955
9. Wasilow, W. S., A. P. Landsmann, W. K. Subaschijew: Der Betrieb der Sonnenbatterien im dritten sowjetischen Erdsatelliten. Die Presse der SU, Nr. 13 (1960), S. 285–286
10. ...: Künstliche Erdsatelliten, 2. Sd. Bd. d. Fortschr. d. Physik, Akademie-Verlag Berlin 1959
11. ...: Einige Gedanken zur interplanetarischen Navigation und Nachrichtenverbindung, radio und fernsehen 8 (1959) 13, S. 418

INHALT

Verantwortlicher Lektor: Harry Brauer
Herausgegeben vom Verlag Sport und Technik,
Neuenhagen/Berlin
Lizenz Nr. 545/44/62
Umschlaggestaltung: Paul Schubert, Berlin
Zeichnungen: Hans-J. Künzelmann
Gesamtherstellung:
VEB (K) Buch- und Werkdruckerei Mylau/Netzschkau III 26 17
Preis: 1,90 DM



Preis: 1,90 DM

VERLAG SPORT UND TECHNIK